

الباب الثالث

طاقة الرياح

**WIND ENERGY**

في نهاية هذا الباب يكون الطالب قادر على:-

- التعرف على طاقة الرياح والعوامل المؤثرة عليها.
- التعرف على مميزات وعيوب طاقة الرياح.
- التعرف على انواع الرياح وكيفية التنبؤ بها.
- التعرف على الطرق المختلفة لقياس سرعة واتجاه الرياح.
- التعرف على اساسيات حسابات طاقة الرياح.
- التعرف على الانواع المختلفة لتوربينات الرياح.

## طاقة الرياح

## Wind Energy

## مقدمة:

تعتبر الرياح إحدى مصادر الطاقة المتجددة المعروفة منذ القدم وتعتبر من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي أصبحت محل اهتمام ودراسة الكثير من الخبراء والباحثين في مجال الطاقة ونظرا لما يعانيه العالم من نقص مستمر في مصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم والبتروول.... وغيرها وكذلك ارتفاع أسعارها توجهت الأبحاث والدراسات نحو كيفية استغلال طاقة الرياح كأحد المصادر المتجددة في توليد الطاقة لاستخدامها في العديد من المجالات منها : إنتاج الطاقة الكهربائية و استخدامها في ضخ المياه والتدفئة..... وغيرها من التطبيقات.

- وتتميز مقارنة بالطاقة الشمسية بانخفاض تكلفتها وعدم انقطاعها بتعاقب الليل والنهار خاصة في المناطق التي تتوفر فيها الرياح بسرعات عالية على مدار اليوم ومن ناحية أخرى نجد أن الطاقة المتولدة من الرياح نظيفة لا تسبب أضراراً للبيئة.

- حسب الإحصائيات تقدر قيمة الطاقة الكهربائية العالمية المنتجة من مصادر الطاقة المتجددة ما يعادل ثلاثة في المائة فقط من مجموع الطاقة المنتجة في العالم وتساهم في هذه النسبة المحطات الهوائية بالقسم الأكبر.

- ان الدراسات أثبتت بان استخدام ثلاثة في المائة من طاقة الرياح المتوفرة يكفي ما يعادل 20 ضعف ما يحتاج إليه عالمنا حالياً من استهلاك للطاقة.

- حوالى 2% من إجمال الطاقة الشمسية التي تسقط على سطح الأرض يتحول إلى طاقة رياح في الغلاف الجوى.

- طاقة الرياح تمدنا بحوالى 10% من احتياجات من الطاقة في القرن الواحد والعشرين.

- الرياح على ارتفاع 80m من سطح الأرض تحتوى على طاقة مقدارها 5 أضعاف الطاقة التي نعرفها.

## طاقة الرياح في مصر:

تتميز مصر بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية، ومن أهم هذه المناطق تلك الواقعة علي ساحل البحر الأحمر وخليج السويس مثل الزعفرانة وخليج الزيت، وبصفة عامة تكون سرعات الرياح في شهور الصيف أعلى منها في شهور الشتاء في تلك المناطق، ويصل المتوسط السنوي لسرعة الرياح بالزعفرانة حوالي 9 متر/ثانية علي ارتفاع 25 متر، في حين أنها تصل إلي 10.5 متر/ثانية في خليج الزيت عند نفس الارتفاع. ونظرا لثمتع مصر بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية ساهمت العديد من الجهات الدولية مع مصر في إنشاء مشروعات رياح لتوليد الكهرباء وربطها علي الشبكة، وقد بلغت القدرة المركبة الإجمالية 230 ميغاوات في حين توجد ثلاث مشروعات أخرى قيد التنفيذ تبلغ قدرتها الإجمالية 320 ميغاوات، وتمثل نسبة مشاركة الرياح من إجمالي القدرات المركبة 1.1% في يوليو 2007، ومن المتوقع الوصول بإجمالي طاقة الرياح إلي 850 ميغاوات بحلول عام 2010 لتمثل مشاركتها حوالي 3% من إجمالي القدرات المركبة في ذلك الوقت، وتبلغ نحو 12% من الطاقة الكهربائية المولدة عام 2020 .

## تعريف الرياح :

الرياح هي تيارات هوائية تتحرك أفقياً مندفعة من جهة إلى أخرى فوق سطح الكرة الأرضية ويتحرك الهواء نتيجة للتسخين غير المتساوي للشمس على الكرة الأرضية فينتج من ذلك مناطق مختلفة في درجة حرارتها وبالتالي وجود مناطق ذات ضغط مرتفع بجوار مناطق ذات ضغط منخفض فالهواء الموجود فوق مناطق الضغط المرتفع يكون ثقيل الوزن بينما الهواء الموجود فوق مناطق الضغط المنخفض يكون خفيف الوزن لذلك يتحرك الهواء الثقيل الوزن من منطقة الضغط المرتفع نحو منطقة الضغط المنخفض ليملاًها حتى يتساوى الضغط في المنطقتين .

وطاقة الرياح هي استخدام الرياح كمصدر للطاقة حيث أن نظم الرياح تقوم بتحويل الطاقة الحركية للرياح الى طاقة ميكانيكية او كهربية حتى يمكن الإستفادة منها في الحياة العملية.

## كيف تتولد الطاقة من الرياح؟

تتولد الطاقة من الرياح بواسطة توربينات الرياح (شكل 1-3) حيث تقوم توربينات الهواء بتحويل الطاقة الحركية في الرياح بواسطة ريش الدوار والتي تدور كلما سرى الهواء عليهم أو اصطدام بهم وتقوم الريش بتحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة ميكانيكية حيث يتصل الدوار بعمود والعزم الناتج على العمود بسبب دوران الريش يقوم بالعمل الميكانيكي أو بتوليد الكهرباء.



شكل (1-3): توربينة رياح

## العوامل المؤثرة في الرياح :

سبق أن أشرنا إلى الاختلاف في الضغط ودوران سطح الكرة الأرضية إلا أن هناك عوامل أخرى تؤثر في الرياح وتغيراتها عند سطح الأرض. منها عاملان هما خشونة السطح والتضاريس مع التسخين غير المتساوي لسطح الأرض بواسطة الشمس تجبر الهواء على تغيير الاتجاه والسريران بسرعات متفاوتة بدرجة كبيرة جداً .

**تأثير التضاريس على الرياح :**

للتضاريس تأثير رئيسى على سرعة واتجاه الرياح حيث أن الرياح تسرى فى الأماكن الأقل مقاومة. ويوضح أمثلة لتأثير التضاريس على الرياح. لاحظ أن شكل المنحدر يحدد مقدار وموقع دوامات الهواء وهى تتغير بدرجة كبيرة أن السرعة أيضاً تتأثر بطبيعة طبوغرافيا المنطقة مثل وجود المنحدرات. كما أن الرياح أيضاً تتأثر بوجود المسطحات المائية.

**تأثير خشونة السطح :**

خشونة السطح هو مصطلح يصف منطقة معينة تؤثر على الرياح ، الاحتكاك بين الهواء وسطح الأرض يسبب تقليل سرعة الرياح حيث تزداد سرعة الرياح كلما ارتفعنا إلى أعلى سطح الأرض. كما أن تأثير خشونة السطح بالإضافة إلى الدوامات التى تحدث كنتيجة لمصدات الرياح الطبيعية كالأشجار فإن المصدات التى يصنعها الإنسان تؤثر أيضاً على الوحدات صغيرة الحجم لتوليد الطاقة من الرياح.

**المعامل الطولى لخشونة السطح:**

نظراً لأن وحدات توليد القدرة بالرياح تستغل فقط الرياح قرب سطح الأرض فإن تأثير السطح لابد أن يؤخذ فى الاعتبار. والرياح الناتجة عن دوران الأرض كنتيجة لانحدار الضغط تقل سرعتها بسبب ما يعترضها من عوائق مثل المنازل والأشجار ..... الخ. ويمكن وصف طبيعة السطح بما يسمى بالمعامل الطولى لخشونة السطح (Roughness-length) ويعرف على أنه الارتفاع الذى تكون عنده قيم هذا المعامل عند تضاريس مختلفة كما فى جدول (1-3).

جدول (1-3): المعامل الطولى لخشونة السطح

وصف السطح	المعامل الطولى لخشونة السطح	نوع التضاريس أو السطح
إعالى البحار	0.0002 م	البحر sea
سطح الحمأه	0.005 م	ناعم smooth
مكشوف، عريض	0.03 م	مكشوف open
الارض الزراعيه ذات نمو خضر طويل	0.1 م	مكشوف وعر rough open -
الموقف المحاطة بالاشجار والشجيرات	0.25 م	وعر rough
المواقف المحاطة بالاشجار والشجيرات	0.5 م	وعر جدا very rough
القرى والغابات	1	مسدودة closed
مراكز المدن الكبيره	2	مراكز المدن city centers

## مفاهيم أساسية :

- المولد التزامنى : "**Synchronous Generator**", ينقسم المولد إلى جزئين أحدهما ثابت "**Stator**" يتكون من عدد من الأقطاب المغناطيسية والآخر دوار "**Rotor**", ويطلق على المولد لفظة التزامنى بسبب أن

الجزء الدوار فى المولد يدور بسرعة ثابتة تتزامن مع سرعة دوران المجال المغناطيسى، علما بأن سرعة الدوران تتحدد بعدد الأقطاب فى المولد.

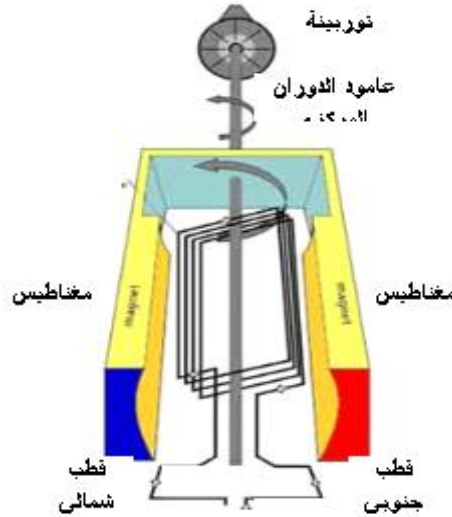
- المولد اللاتزامنى : "**Asynchronous Generator**", يعتبر المولد اللاتزامنى أو المولد الحثي "**Induction Generator**" من المولدات الأكثر

استخداما في توربينات الرياح ويكاد يكون استخدامه في الحياة العملية قاصرا عليها، ولعل الشيء الهام أن هذا المولد قد صمم في الأصل كموتور لذا فهو يستخدم ملفات "Coils" ينشأ عنها مجال مغناطيسي عند تزويدها بالكهرباء في بداية عمل المولد وذلك بدلا من الأقطاب المغناطيسية المستخدمة في المولد التزامني، كما يتميز برخص سعره مقارنة بالمولد التزامني.

وعادة ما تستخدم التوربينات مولدات تعتمد علي أربع أو ست ملفات، ويرجع هذا إلي أن السرعة العالية في الدوران تقلل حجم المولد وتكلفته حيث أن عدد الأقطاب يتناسب تناسبا عكسيا مع سرعة الدوران التي يبدأ عندها توليد الطاقة الكهربائية.

### كيفية عمل المولد :

توصل التوربينة من خلال عامود الدوران المركزي مع مولد يحتوي علي مجال مغناطيسي كبير وبدوران التوربينة يدور العامود المركزي فيقطع الملف المجال المغناطيسي فنحصل علي كهرباء، أي أن المولد يحول الطاقة الميكانيكية إلي طاقة كهربائية من خلال إدارة ملف في وجود مجال مغناطيسي، كما في شكل (1-3).



شكل (1-3): رسم توضيحي للتوربينة والمولد



وللحصول علي طاقة حردكة لإدارة الملف يمكننا استخدام الرياح أو المياه الساقطة من الشلالات أو بخار ينتج من تسخين المياه بالفحم أو البترول أو الغاز الطبيعي، فكل هذه المصادر تقوم بتوليد الطاقة اللازمة لإدارة الملف بين قطبي مغناطيس لتتولد الكهرباء.

1- **مساحة سطح الدوران "Swept Area"**: تعبر مساحة سطح الدوران عن المساحة الناشئة عن دوران الريش والتي تتحدد بطول الريشة – فكلما زادت أطوال الريش كلما زادت مساحة سطح الدوران، وبالتالي حجم الهواء الذي يضرب مستوي الدوران، ويطلق أيضا علي مساحة سطح الدوران قطر التوربينة.

2- **نسبة سرعة سن الريشة "Tip-Speed Ratio"**: هي النسبة بين السرعة عند نهاية الريشة "سن الريشة Tip Blade" وسرعة الرياح، والتي تزيد كلما زاد طول الريشة، وتتحدد حدودها المثلي بين 60 – 80.

3- **توربينات السرعة الثابتة Constant Speed Wind Turbines**: تعتمد هذه التوربينات علي ثبات سرعة دوران ريش التوربينة وبالتالي الجزء الدوار في المولد (أي عدد اللفات في الدقيقة)، وتستخدم هذه التوربينات المولد الحثي –السابق الإشارة إليه- لذا يكون خرج التيار من المولد ذو تردد ثابت.

4- **توربينات السرعة المتغيرة Variable Speed Wind Turbines**: تعتمد هذه التوربينات علي تغير سرعة دوران ريش التوربينة وبالتالي الجزء الدوار في المولد، مما يؤدي إلي اختلاف خرج المولد، وتستخدم هذه التوربينات المولد التزامني ولا تحتاج إلي صندوق سرعات مما يؤدي إلي زيادة حجم المولدات التزامنية مقارنة بالمولدات اللاتزامنية، ويتطلب ربط هذه التوربينات علي الشبكة الكهربائية ضبط تردد التيار الناتج منها، وذلك باستخدام إلكترونيات القوي Power Electronics وهي مجموعة من الوحدات الإليكترونية التي تتحكم في التيار الكهربائي ليخرج بالتردد المطلوب، كما يمكنها العمل بشكل جيد عن توربينات السرعة الثابتة كوحدة منفصلة "Standalone Units" أي تعمل كما لو كانت محطة كهرباء مستقلة.

5- مزارع الرياح "Wind Farms/Parks": هي مجموعة من توربينات الرياح المتواجدة في مكان واحد يتم توصيلها سويا لتوليد الطاقة الكهربائية التي تنقل عبر خطوط النقل والتوزيع للمستهلكين. ونظرا للتأثير المهم لسرعة الرياح علي الطاقة المولدة فإن بعضا من مزارع الرياح تقام داخل المياه ويطلق عليها المزارع البحرية "Off-Shore Wind Farms" حيث ترتفع سرعات الرياح عنها في اليابسة

وتوجد بعض المشروعات الريادية علي مستوي العالم، أما تلك التي تقام علي اليابسة فتسمى المزارع الشاطئية "On-Shore Wind Farms" مثل تلك الموجودة بمنطقة الزعفرانة بالبحر الأحمر والتي تضم العديد من مزارع الرياح، وعلي الرغم من ارتفاع تكلفة المزارع البحرية وصعوبة تركيبها وصيانتها مقارنة بالمزارع الشاطئية، إلا أن هذه المشروعات ضرورية من أجل زيادة المنافسة واكتساب الخبرة والعمل في بيئة مشروعات المزارع البحرية.



شكل(3-3): مزرعة رياح ميدلجروندن البحرية الواقعة خارج ميناء كوبنهاجن

شكل (2-3): جانب من مزرعة الرياح بالزعفرانة

### تطور استخدام طاقة الرياح:

إن استخدام الطواحين الهوائية يرجعنا إلى ما قبل الميلاد. ففي القرن السادس الميلادي استخدمت المطاحن الهوائية للمرة الأولى لدى العرب وانتقلت في القرن التاسع إلى أوروبا. استمر هذا الاستخدام واسعا حتى القرن الثامن عشر.

في عام 1920 قدم العالم الألماني BETZ الأسس الفنية لعنفه ريحية ذات مردود عال وفي الخمسينات من هذا القرن أدخل العالم الألماني HUETTER أول محطة طاقة هوائية.

- استخدمت طاقة الرياح منذ آلاف السنين في دفع السفن الشراعية علي سطح البحر, وفي إدارة طواحين الهواء, وطحن الغلال والحبوب, بالإضافة إلي ضخ المياه الجوفية من الآبار.
- مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين كان هناك الملايين من تربينات الرياح المنتشرة في معظم أنحاء العالم باستخدامات مختلفة.
- في الأربعينات من القرن العشرين أصبحت من الأساليب القديمة لتوليد الكهرباء نتيجة الانتشار الواسع للنفط بتكلفة اقل من تكلفة تشغيل تلك التربينات .
- في السبعينات كان هناك عوده لاستخدام طاقة الرياح عندما أدي نقص البترول في الدول الغربية إلي البحث عن طاقات بديلة.
- شهدت تكنولوجيا تصنيع تربينات الرياح في العشرين عاما الأخيرة مستوي عالي من النضج تجلي في ارتفاع جودة وكفاءة التربينات , إلي جانب انخفاض تكلفة الإنتاج, وبالتالي زاد الاعتماد عليها.
- ومنذ ذلك الوقت جرت البحوث والدراسات لتخفيض التكلفة وبكفاءة عالية والسعي لانتشارها كطاقة نظيفة للبيئة ورخيصة.
- واليوم تستخدم طاقة الرياح في كثير من التطبيقات العملية أهمها ضخ المياه وتوليد الكهرباء.
- لقد وصل تطور الأبحاث والدراسات في هذا المجال إلي تقديم حلول واقتراحات كثيرة منها علي سبيل المثال ما يسمى ب "تربينات الخط السريع" وهي فكره مقدمه من طالب في جامعة أريزونا الأمريكية حيث تعتمد هذه الفكرة علي توليد الطاقة الكهربائية نتيجة لحركة السيارات في الطرق السريعة حيث توضع مراوح بشكل نائم تدار كلما مرت عدد من السيارات أسفل منها , كما تدار بواسطة الهواء أيضا , في حال نجحت الفكرة

بشكل جيد نستطيع الاستفادة من الطرق السريعة في توفير الطاقة الكهربائية لأغراض كثيرة علي الأقل تستخدم لإنارة الطرق ليلا وإنارة إشاراتها الضوئية والمرورية.

### مميزات طاقة الرياح:

- 1 - مصدر متجدد للطاقة ونظيف لا يسبب أي أضرار بيئية
- 2 - عدم انقطاعها بتعاقب الليل والنهار خاصة في المناطق التي تتوافر فيها الرياح بسرعات عالية وعلو مدار اليوم.
- 3 - تكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح قريبا من تكلفة إنتاجها بالوسائل التقليدية مثل النفط.
- 4 - عند مقارنة تكلفتها بتكلفة الطاقة الشمسية وجد أنها أقل في التكلفة.
- 5 - يمكن وضع التربينات فوق المباني .
- 6 - وجد أن 95% من الأراضي المستخدمة كحقول للرياح يمكن استخدامها في أغراض أخرى مثل الزراعة أو الري.

### عيوب طاقة الرياح:

- 1 - لا يمكن التنبؤ دائما بوجود الرياح حيث أن هناك بعض الأيام علي مدار العام لا يوجد بها الرياح أو أن سرعة الرياح لا تكفي لتشغيل النظام.
- 2 - الأراضي المناسبة لإنشاء مزارع الرياح دائما ما تكون قرب السواحل حيث تكون أسعار الأراضي مرتفعة أحيانا تؤثر وحدات حصاد طاقة الرياح علي الاستقبال التلفزيوني في الأماكن القريبة.
- 3 - دوران التربينات من الممكن أن يكون لها تأثير بصري وضوضاء قد يزعج الأشخاص القاطنين بجوار حقول الرياح, ولتقادي هذه المشكلة يفضل إنشاء حقول الرياح في مناطق بعيدة عن السكان.
- 4 - عدم الثبات في القدرة المنتجة من حيث حركة الرياح لان كمية القدرة المنتجة تتناسب مع سرعة الرياح إضافة الي أن كفاءة تحول الطاقة

تتوقف علي سرعة الرياح التي تتمتع بكفاءة تصميمية نظرية تصل الي 60%.

5 - طاقة الرياح كباقي الطاقات المتجددة تعتبر طاقة تعويضية وليست طاقة بديلة أي لا يصلح استخدامها بدون مصادر أخرى للطاقة.

### تحديد كمية الطاقة المنتجة:

السرعة هي المحدد لكمية الطاقة المنتجة حيث المحطات الهوائية الحديثة تستطيع تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية ابتداء من سرعة 4 م/ث وتستطيع هذه المحطات أن تقدم استطاعتها الاسمية اعتبارا من سرعة 10 م/ث لهذا السبب يختار موقع المحطة بحيث يكون قدر الإمكان في مصب الريح.

وكما هو معروف فان سرعة الرياح تزداد كلما ازداد الارتفاع عن سطح الأرض فسرعة الريح على ارتفاع 50 مترا فوق سطح الأرض هي اكبر بمقدار 1.35 مرة وبمقدار 5.1 مرة على ارتفاع 100 متر للمكان نفسه. وقد وجد ان الارتفاع ما بين الأرض والمحور الدوار لمعظم المحطات الهوائية يبلغ ما بين 30 إلى 80 مترا. كما نجد من العلاقة التالية فان الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطة هوائية ما تتعلق بالإضافة إلى أبعاد المروحة قبل كل شيء بسرعة الرياح المتغيرة والمتقلبة. لا يمكن تحويل الطاقة من شكل إلى آخر بدون محولات . وإضافة إلى المحولات الكهربائية الذاتية فان قوى احتكاك الهواء مع الأجزاء الميكانيكية وكذلك أجهزة نقل الحركة تحد من المرود.

في حسابات القدرة المنتجة من الرياح تلعب النسبة ما بين السرعة الدورانية للمروحة إلى سرعة الرياح دورا مهما فكلما كبرت هذه النسبة تقل مساحة وكثافة أجنحة المروحة .معظم المحطات الهوائية الحالية تعمل بمروحة تحتوي على اثنين أو ثلاثة أجنحة وهي كافية بهذا العدد لهذا الغرض إضافة إلى سهولة تصميمها والدوران المناسب حتى لسرعات ريحية بطيئة، زيادة أجنحة المروحة يمكن ان تعطي منظرا أجمل لا اكثر للمحطة .- من أهم الشركات المنتجة شركة Vetas الدانمركية حيث جهزت آلاف المحطات في العالم إضافة إلى العديد من المحطات في الدانمرك نفسها.

## قياسات الرياح:

إن الشرط الأساسي لتنفيذ وتشغيل أي محطة أو حقل هوائي (حقل هوائي يتألف من عدة محطات هوائية موصولة مع بعضها البعض كهربائياً) في مكان ما هو توافر طاقة ريح كافية لتشغيل مروحة المحطة. لذلك لا بد من معرفة وتحديد سرعة واتجاه وتوزيع الريح الرئيسية وعلى ارتفاعات مختلفة لهذا المكان:

في المناطق السهلية يمكن قياس شدة وكمية الريح دون أي صعوبة بعكس المناطق التضاريسية ذات الهضاب والجبال إذ يتطلب إجراء قياسات خاصة. ان اضطرابات الرياح لها تأثيرات كبيرة على عمر وسلوك المنشأة الهوائية.

هذه الاضطرابات لا بد من معرفتها ودراستها أثناء التخطيط للتأكد من صلاحية المكان.

- إن مبدأ قياس كمية وسرعة الريح لمكان ما يتم غالباً بواسطة محطة أرصاد جوية ولفترة زمنية طويلة وتقارن بعد ذلك القيم المقاسة حسب مساحة المنشأة المراد بناؤها مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة التضاريس.

- مدة القياس تطول حتى 12 شهراً للتمكن من معرفة تقلبات واضطرابات الريح على مدار السنة. (عادة ما تقارن نتائج القياس لفترة زمنية معينة مع قياسات محطة هوائية موجودة منذ فترة زمنية طويلة وتصحح النتائج في ضوء ذلك. هذه الطريقة تدعى (Measure, Correlate, Predict)

- إن القياسات التي تجرى لتحديد سرعة واتجاه الريح للمكان المراد بناء المحطة عليه تتم على ارتفاعين مختلفين على الأقل الارتفاع عن عشرة أمتار عن سطح الأرض ويفضل على ارتفاع محور Micro Sitting

- إن نتائج القياس يجب ان تكون دقيقة جداً لان أي خطأ في القياس قد يؤدي إلى خسائر مادية عالية. ومن أهم الأسباب التي تؤدي إلى أخطاء في نتائج يمكن إرجاعها إلى طريقة اختيار وتركيب وحساسية وتعبير أجهزة القياس, وهنا لا بد من الاستعانة بلوائح IER - Wind Speed Measurement and use of cup anemometry.

- بشكل عام تعتبر أجهزة القياس الحالية دقيقة وذات أخطاء تقع تحت النسب المسموح بها. يجب ألا ننسى أخيرا بان درجة حرارة الجو تؤثر في حركة الريح العمودية (الطبقات) وتؤثر في دقة القياس.

## أنواع الرياح:

### 1- تيارات الرياح العامة:

نتيجة الى ارتفاع درجة حرارة الهواء فى المنطقة الاستوائية فيصبح الهواء اقل كثافة ويبدأ فى الارتفاع متحركا فى اتجاه الشمال حتى عرض 30 شمالا وكذلك فى اتجاه الجنوب حتى خط عرض 30 جنوبا حيث تنخفض درجة حرارة الهواء هناك ثم يهبط ويعود الهواء البارد ليأخذ مكانا فى الطبقات المنخفضة من الغلاف الجوى. كذلك نتيجة لدوران الكرة الارضية ينتج تيار من الهواء من المنطة الاستوائية فى اتجاه اقطاب الكرة الارضية الشمالية والجنوبية والذى بدوره ينحرف فى اتجاه الشرق أما تيار الهواء العائد الى المنطقة الاستوائية سوف ينحرف فى اتجاه الغرب.

### 2- تيارات الهواء المحلية:

#### أ- تيارات الهواء المحلية الساحلية:

تيارات الهواء الساحلية على الشاطئ والتي تسمى بنسيم البحر تحدث نتيجة اختلاف السعة الحرارية للبحر والارض والتي تسبب اختلاف فى معدلات التسخين والتبريد حيث ان السعة الحرارية للارض منخفضة عن مثيلتها بالنسبة للبحر وهذا يؤدي الى ان ترتفع درجة حرارة الارض اسرع من مياه البحار نهارا ولكن فى الليل يكون معدل البرودة للارض اسرع من البحار وهذا يؤدي الى حدوث تيارات من الهواء ناتجة من البحر فى اتجاه اليابسة اثناء اوقات النهار ويكون العكس ليلا.

#### ب- تيارات الهواء المحلية نتيجة الجبال والودية:

تيارات هواء ناتجة من اختلاف تضاريس الارض من جبال وتلال حيث ان درجة حرارة الوديان (المنخفضات) اقل من درجة حرارة الجبال نهارا والعكس ليلا.

## التنبؤ بسرعة الرياح عند أى ارتفاع

يمكن التنبؤ بسرعة الرياح عند أى ارتفاع بمعلومية سرعة الرياح عند ارتفاع معين باستخدام نوعين من الدوال والتي تم استخدامها على نطاق واسع فى وصف التغير فى متوسط سرعة الرياح مع الارتفاع, Walker, 1997 وهما العلاقة الاسية والعلاقة اللوغارتمية.

## 1- العلاقة الاسية Power exponent function

$$V_z = V_r \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha$$

حيث ان:-

$V_z$  سرعة الرياح المراد تحديده عند الارتفاع  $z$  عن سطح الارض

$V_r$  سرعة الرياح عند الارتفاع المرجعى

$Z_r$  الارتفاع المرجعى

$\alpha$  قيمة الاس والذى يعتمد على خشونة ونوع التضاريس

## 2- العلاقة اللوغارتمية:

$$V_z = V_{10} \times \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{Z_0}\right)}$$

حيث ان :-

$V_z$  سرعة الرياح المراد تحديده عند الارتفاع  $z$  عن سطح الارض

$V_{10}$  سرعة الرياح المرجعية عند ارتفاع 10 متر عن سطح الارض

$Z_0$  قيمة المعامل الطولى لخشونة سطح الارض والذى يعتمد كذلك على نوع التضاريس وسطح الارض.



## المعامل الطولى لخشونة السطح:

يعتمد التنبؤ بسرعه الرياح على نوع سطح الأرض ونوع التضاريس وهما يعبر عنهما بما يسمى بالمعامل الطولى لخشونة السطح ويرمز له بالرمز  $Z_0$ .  
يوضح الجدول (1-3) يوضح المعامل الطولى لخشونة السطح عند أنواع مختلفه من التضاريس (Grry, 2001).

جدول (1-3) : المعامل الطولى لخشونة السطح عند أنواع مختلفه من التضاريس

نوع التضاريس أو السطح	المعامل الطولى لخشونة السطح (m) $Z_0$	وصف السطح
البحر	0.0002	أعلى البحار
ناعم	0.005	سطح الحمأه
مكتشوف	0.03	مكتشوف وعريض
مكتشوف وعر	0.1	الأرض الزراعيه ذات نمو خضرى قصير
وعر	0.25	الأرض الزراعيه ذات نمو خضرى طويل
وعر جدا	0.5	المواقف المحاطه بالاشجار والشجيرات
مسدوده	1	القرى والغابات
مراكز المدن	2	مراكز المدن الكبيره

## مثال

توربينة رياح معدل حصاد القدرة لها 100 كيلو وات عند سرعة رياح 10 م/ث مقاسة على ارتفاع 50 متر فوق سطح الارض. اذا كانت القدرة الخارجة تتناسب مباشرة مع مكعب سرعة الرياح ما هى قدرة التوربينة عند انشائها فى موقع يرتفع 200 متر فوق سطح الارض وكان معامل خشونة سطح الارض 0.02.

## الحل

$$P_{old} = 100 \text{ kW} \quad V_{old} = 10 \text{ m/sec}$$

$$Z_{old} = 50 \text{ m} \quad Z_{new} = 200 \text{ m} \quad Z_0 = 0.02$$

$$\text{Find : } P_{new} = ??? \text{ kW}$$

باستخدام العلاقة اللوغاريتمية نستطيع ان نحسب قيمة سرعة الرياح الجديدة عند الارتفاع الجديد

$$V_{new} = V_{50} \times \frac{\ln\left(\frac{Z_{new}}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{50}{Z_0}\right)}$$

$$V_{new} = V_{50} \times \frac{\ln\left(\frac{200}{0.2}\right)}{\ln\left(\frac{50}{0.2}\right)} = 12.51 \text{ m/sec}$$

وعليه تكون قيمة القدرة التى يمكن حصادها بهذه التوربينة عند هذه الحالة الجديدة هى:

$$P_{new} = P_{old} \times \left(\frac{V_{new}^3}{V_{old}^3}\right) = 100 \left(\frac{1957.81}{1000}\right) = 195.8 \text{ kW}$$

نلاحظ ان قيمة القدرة التي يمكن حصادها بهذه التوربينة زادت من 100 كيلو وات الى 195.8 كيلو وات عند نفس قيمة كثافة الهواء.

### طرق قياس سرعة واتجاه الرياح:

تعتبر قياسات الرياح من أهم المعلومات المطلوبة لتحديد أنسب الأماكن لإقامة توربينات حصاد الطاقة من الرياح وتحديد اتجاهها بالنسبة للمرات الجبلية حيث أن الرياح تسير في اتجاه واحد في هذه الممرات مما يعطي الفرصة لاستخدام توربينات طاقة رياح مثبتة في اتجاه واحد هو اتجاه سريان الهواء. وبصفة عامة الرياح من الشرق والغرب أقل تكرار وتتسم بأقل متوسط سرعة بخلاف الريح من الشمال والجنوب وبالتالي نحتاج قياسات الرياح لتحديد ديناميكية عمل التوربينة المناسبة.

### وتتقسم قياسات الرياح إلى:

- قياس سرعة الرياح M/s

- قياس اتجاه الرياح Direction

وتقاس سرعه الرياح واتجاهها بعديد من الطرق منها:

- طرق تقديرية منظورة

- طرق ميكانيكية محسوبة

### أ- الطرق التقديرية المنظورة لقياس سرعة الرياح واتجاهها :

تعتمد الطرق التقديرية علي دلائل معنوية ملحوظة توضح شدة سرعة الرياح واتجاهها وتأثير ذلك علي سطح الأرض وما عليها من نباتات وحشائش وغيرها.

تقسم الطرق التقديرية الملحوظة إلي طريقتين هما :

- دلائل أيوليان Eolian features

- المؤشرات البيولوجية

**\* دلائل أيوليان Eolian feature :**

وهي مجموعة من الدلائل المعنوية الملحوظة والتي تعطي نظرة تقديرية عن مدي سرعة الرياح واتجاهها في منطقة الدراسة وذلك من خلال البحث والاستقصاء الابتدائي فقط ومن أمثلة دلائل أيوليان:

**1- الكثبان الرملية :**

تعتبر الكثبان الرملية من أهم الظواهر الطبيعية والتي تعطي قيم تقديرية عن مدي سرعة الرياح السائدة واتجاهها في نفس الوقت من خلال شكل الكثبان ودرجة نعومة وخشونة رملها حيث أن الكثبان تمتد طوليا في اتجاه موازي لاتجاه الرياح وبالتالي تشير إلي اتجاه سريان الهواء وبفحص حبيباتها نجد أن:

- الحبيبات الخشنة تشير إلي رياح ذات سرعة عالية.

- الحبيبات الناعمة تشير إلي رياح ذات سرعه منخفضة نسبياً.

**2- بحيرات Playa**

حيث أن الرياح تجرف الأرض وتعمل علي نقر وعمل منخفضات تملئ بالماء بعد سقوط الأمطار وعندما يتبخر الماء تقوم الرياح بحمل الرواسب الموجودة في قاع البحيرة إلي الخارج وبالتالي يتطور قاع البحيرات باستمرار ويصل إلي درجات نضج معينة من خلالها يمكن تقدير مدي قوة الريح المؤثرة في هذه المنطقة.

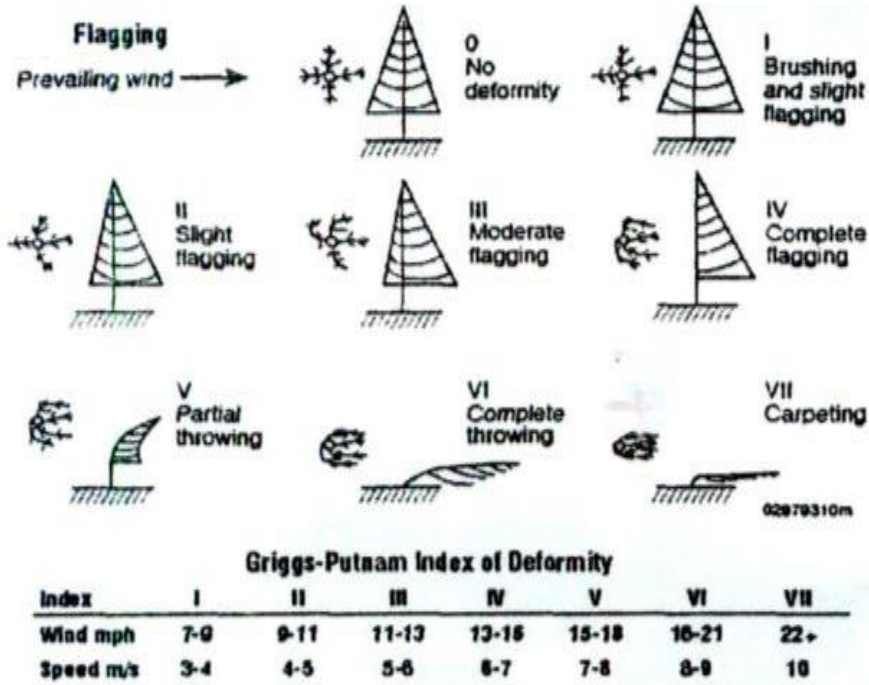
**3- رواسب Plumes**

حيث تقوم المواد المحمولة بواسطة الهواء بحفر خطوط علي أسطح الصخور المكشوفة توضح مدي قوه الرياح.

المؤشرات البيولوجية:

تعتبر المؤشرات البيولوجية من أهم الطرق التقديرية المرئية في حالة وجود غطاء نباتي حيث تظهر أهميته عندما يكون الغطاء النباتي قليل وبالتالي فإن النباتات التي تخفي دلائل أيوليان Eolian features يمكن من خلالها الحصول علي معلومات عن الرياح السائدة في منطقة الدراسة حيث أنها تغير شكل الأشجار والشجيرات بها

وشكل (4-3) يوضح تأثير الرياح القوية علي المسطحات النباتية للمساعدة علي إيجاد قيمة سرعة الرياح واتجاهها.



شكل (4-3): التضعيف وتأثير الرياح القوية على المسطحات النباتية يساعد على إيجاد قيمة سرعة الرياح واتجاهها

ويتضح من الشكل (4-3) أن هناك مظاهر مختلفة من مظاهر تشكيل الأشجار بالرياح يمكن استخدامها كمعيار لقياس السرعة منها على سبيل المثال :

1- التمشيط Brushing

ظاهرة التمشيط تكون فيها أفرع الأشجار أسفل اتجاه سريان الهواء حيث يقوم الهواء بتمشيط الأشجار في اتجاه سريانه وتكون هذه الظاهرة أكثر وضوح عند تساقط الأوراق.

2- التقصيف بالرياح Wind clipping

وفيها تقوم الرياح بتقصيف الأشجار إلي مستويات منخفضة وأي غضن يرتفع أعلي هذا المستوي يموت وبالتالي يكون السطح العلوي للشجرة أملس.

3- سجادة الأشجار Tree carpet

وهي حالة ممتدة من clipping حيث أن الأشجار يمكنها النمو راسياً القليل من السننيمترات وفيها تنمو الأفرع علي امتدادا سطح الأرض كما لو كانت سجادة ارتفاعها 10سم.

4- التضعيف Flagging

هي نمو أفرع الأشجار ممتدة في اتجاه الرياح مما يعطي قيمة لمدي سرعة الرياح واتجاهها

5- التمشيط والتقصيف Flagging and branching

هي نفسها Flagging ولكن الرياح فيها تكون أكثر قوة فتحدث إضافة جديدة في المناطق العلوية من الأشجار وهي branching أي تصبح أفرع الأشجار في اتجاه سريان الهواء ولكن سطحها العلوي ممشط.

6- قذف الهواء wind throwing

وفيها تكون أفرع الأشجار وجذوعها الرئيسية مشكله في اتجاه سريان الرياح

**مميزات الطرق المتطورة:**

- طريقة سهله وبسيطة.

- يمكن من خلالها تحديد أفضل الأماكن لإنشاء وحدات حصاد طاقة الرياح.

**عيوب الطرق المنظورة:**

- لا تعطي قيم دقيقة عن متوسط سرعة الرياح في منطقة الدراسة.

**ب- الطرق الميكانيكية المحسوبة لقياس سرعه الرياح واتجاهها :**

أولاً: أجهزة قياس سرعة الرياح :

وهي أدوات لقياس سرعة الرياح صممت بتنوعات مختلفة كل نوع يحتوي علي مميزات و عيوب وتتضمن الأنواع الآتية:

1- انيموميتر ذو الكأس Cup anemometer

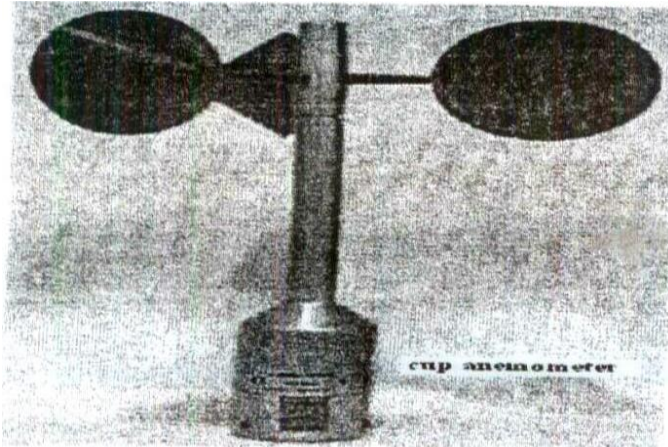
2- انيموميتر الريش Propeller anemometer

3- انيموميتر موجات الالتراسونيك Ultrasonic anemometer

4- السلك الساخن Hot wire

**1- انيموميتر الكأس Cup anemometer :**

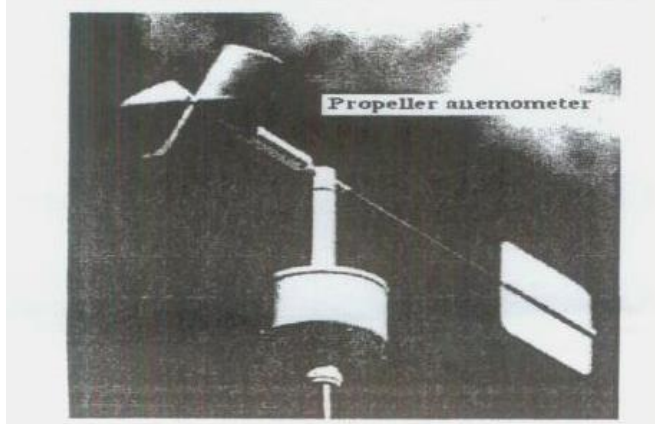
أنيموميتر الكأس موضح في شكل (3-5) وهو أكثر الأنواع انتشار وناجح جداً في المهام الخاصة بتكنولوجيا توربينات طاقة الرياح.



شكل (3-5): أنيموميتر الكأس

**2- انيموميتر الريش : Propeller anemometer**

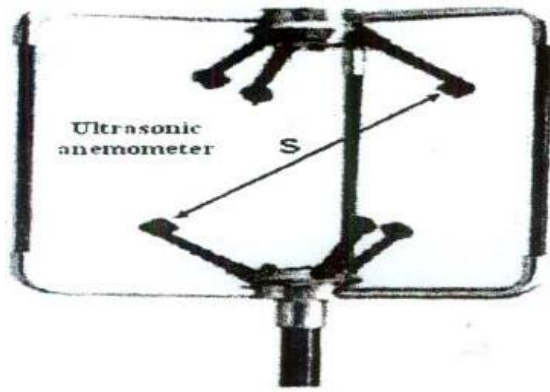
في هذا الجهاز يكون محور عجلة قياس سرعة الرياح أفقياً لذا يحتاج إلي أن يوجه في اتجاه الرياح ولذلك نجد أنه مزود بريشة توجيه كما هو موضح بشكل (6-3) وهذا النوع من الانيموميترات ذو تركيب ميكانيكي معقد.



شكل (6-3): انيموميتر الريش

**3- انيموميتر الالتراسونيك : anemometer**

وهذا النوع من الانيموميترات ذات تكنولوجيا معقدة ويعمل علي أساس أن الموجات المضغوطة تتحرك بسرعة الالتراسونيك Ultrasonic وهذا النوع ليس به أجزاء متحركة وكذلك يمكن من خلاله قياس سرعة واتجاه الرياح في نفس الوقت . ويوضح شكل (7-3) أحد تلك الأجهزة.

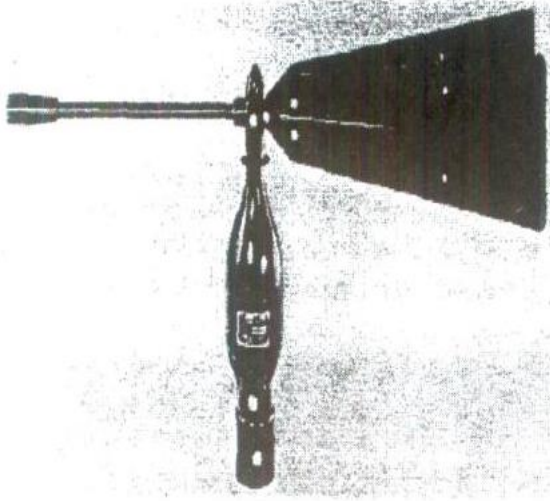


شكل (7-3): انيموميتر الالتراسونيك



## ثانياً: أجهزة قياس اتجاه الرياح:

مروحة الهواء wind vane تستخدم لإيجاد اتجاه الرياح wind direction وهي من أقدم أدوات القياس الأساسية. ومروحية الهواء وهي جسم غير منتظم الشكل مركب حول محور رأسي حيث تدور مروحة الهواء حوله بحرية. والنهاية تعطي أقصى مقاومة للرياح المتجهة من الأمام إلى الخلف ومروحة الهواء تحتاج لسرعة رياح صغيرة في حدود من 0.5 إلى 1 متر/ ثانية حتى يتم توجيهها وتسمى هذه السرعة سرعة البدء. ويوضح شكل (3-8) مروحة قياس اتجاه الرياح .

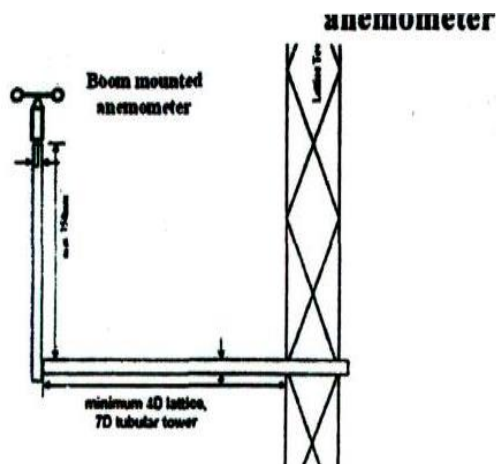


شكل (3-8): مروحة قياس اتجاه الرياح

## طرق إنشاء أجهزة قياس سرعة واتجاه الرياح في محطة الأرصاد:

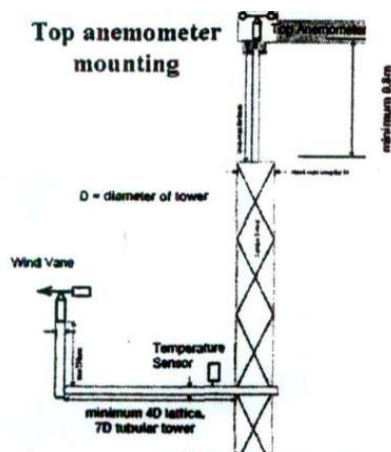
هناك نظم عديدة قياسية لتركيب أجهزة سرعة واتجاه الرياح في محطة الأرصاد (Gerhard, 2005) منها علي سبيل المثال :

\* تثبيت المانومتر على ماسورة طويلة Boom mounted anemometer



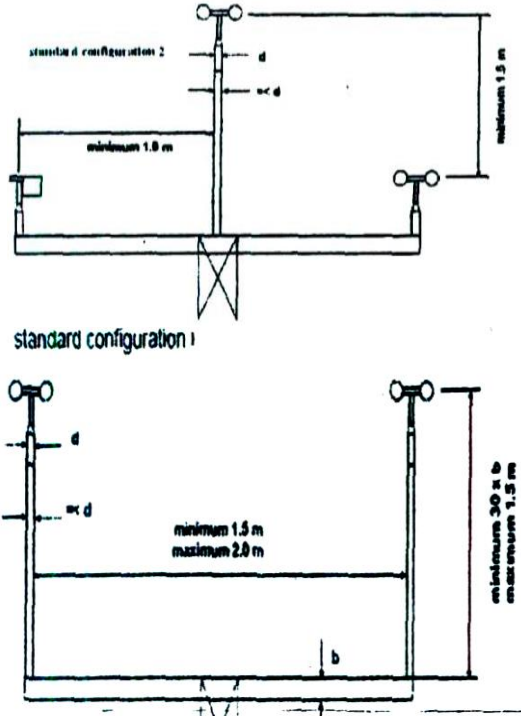
شكل (9-3): تثبيت المانومتر على ماسورة أفقية طويلة

\* التثبيت العلوي الرأسى Top anemometer mounting



شكل (10-3): تثبيت المانومتر فى الاتجاه الرأسى

## \* التثبيت القياسي Standard configuration



شكل (3-11): الطرق القياسية لتثبيت المانوميتر

## إحصائيات سرعة الرياح:

تتغير قيمة سرعة الرياح باستمرار مما يجعل الطرق الإحصائية أفضل الطرق لوصف سرعة الرياح وهناك العديد من المقادير الإحصائية منها المتوسط الحسابي والتباين والانحراف القياسي.

1- المتوسط الحسابي :

المتوسط الحسابي هو أحد المقادير الإحصائية التي يمكن التنبؤ بها واستخدامها في وصف سرعة الرياح. فإذا كان لدينا مجموعة من الأرقام مثل مجموعة من القياسات لسرعة الرياح فالمتوسط الحسابي  $\bar{v}$  لهذه المجموعة يمكن تعريفه كما يلي:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

حيث أن :

$v_i$  هي قيم سرعة الرياح المقاسة في كل مرة

$n$  هي إجمالي العدد الكلي للعينة لعدد مرات قياس سرعة الرياح.

## 2- التباين :

بالإضافة إلي معرفة المتوسط الحسابي لسرعة الرياح فإن انحراف كل قيمة عن المتوسط  $v_i - \bar{v}$  تعتبر أيضاً مهمة وضرورية لوصف حالة الرياح. ومن هذا الانحراف يمكن إيجاد التباين ( $\sigma^2$ ) variance من خلال تجميع مجموع مربع الانحرافات عن المتوسط الحسابي وقسمته علي درجات الحرية  $n-1$  كما هو واضح في المعادلة التالية

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2$$

سرعة الرياح تقاس دائماً علي أنها قيم صحيحة وبالتالي نلاحظ تكرار القيم المقاسة أثناء سنة الملاحظة وعدد مرات رصد قيم سرعات الرياح المتشابهة  $v_i$  يمكن التعبير عنها بالرمز  $m_i$  وعليه يمكن حساب قيمة متوسط سرعة الرياح من العلاقة الآتية :

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^w m_i v_i$$

حيث أن :

$v_i$  سرعة الرياح المقاسة

$m_i$  عدد مرات رصد القيمة

$w$  عدد القيم المختلفة المقاسة

$n$  عدد القيم الكلية المرصودة

في هذه الحالة يمكن حساب التباين كما يلي :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^w m_i v_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^w m_i v_i \right)^2 \right]$$

3- الانحراف القياسي لسرعة الرياح :

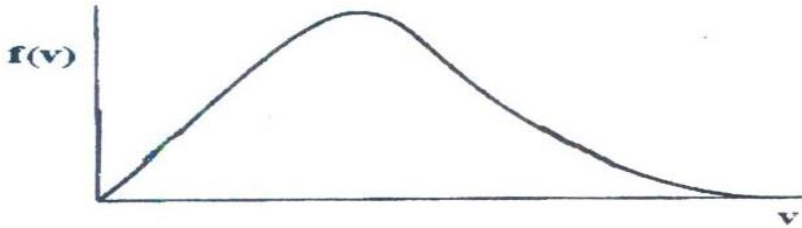
الانحراف القياسي standard deviation  $\sigma$  عبارة عن الجذر التربيعي للتباين ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$\text{Standard deviation} = \sqrt{\text{var ince}}$$

4- دالة الكثافة لسرعة الرياح :

ومن الملائم تمثيل منحنى تكرار سرعة الرياح بواسطة دالة رياضية مستمرة بطريقة أفضل من جدول القيم المتقطعة لعدد من الأسباب النظرية. وحيث أن دالة الكثافة لسرعة الرياح wind speed  $f(v)$  density function تعطي احتمالية سرعة الرياح علي فترات 1م/ث عن القيمة المركزية لسرعة الرياح  $v$  والمساحة تحت منحنى دالة كثافة سرعة الرياح شكل (3-11) تساوي الواحد الصحيح ويمكن تعريفها عن طريق التكامل المتماثل للمساحة تحت المنحى كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1$$

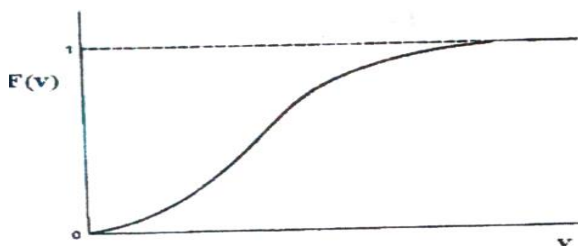


شكل (3-11): دالة الكثافة لسرعة الرياح

5- دالة التوزيع التراكمي لسرعة الرياح :

وأيضاً سوف نعرف دالة التوزيع التراكمي لسرعة الرياح wind speed cumulative distribution وهي تمثل احتمالية سرعة الرياح المقاسة والتي تكون قيمتها أقل من أو يساوي  $v$  ودالة التوزيع التراكمي لسرعة الرياح  $F(v)$  كما في شكل (3-12) ويمكن الحصول عليه من العلاقة التالية :

$$F(v) = \int_0^v f(v)dv$$



شكل (3-12): دالة التوزيع التراكمي لسرعة الرياح

### 6- مقاييس الاحتمالية لشدة سرعة الرياح :

كما نعرف أن قدره الرياح تتناسب مع مكعب السرعة وأن سرعة الرياح تتغير باستمرار ولذلك فإن قدرة الرياح تعتمد علي احتمالية دالة كثافة / شدة سرعة الرياح wind speed probability Density function وليس مع المتوسط الإحصائي. وإذا أردنا معرفة اختلاف سرعة الرياح فيم كان ما بدون تجميع بيانات عن وضع سرعات الرياح فإن ذلك يمكن عن طريق استخدام أحد المقاييس الآتية Rayleigh function or Weibull density function وهما أكثر الدوال استخداما في حسابات شدة والتوزيع التكراري لسرعات الرياح. والفرق بين الدالتين السابقتين أن الأولي Weibull densit function يحتوي علي عاملين مجهولين وهذا ما يجعلها أكثر تعقيداً عن الدالة الثانية Ragleigh function والذي تعتمد علي مجهول واحد يجعلها أبسط في الاستخدام ولكنها أقل دقة عن الدالة الأولي كما سوف يوضح فيما بعد.

#### أ- دالة ويبول Weibull density function :

يمكن استنتاج دالة احتمالية شدة سرعة الرياح  $f(v)$  ولذلك بفرض أن سرعات الرياح تأخذ شكل Weibull في توزيعها. وسوف نتعرض فقط إلي الصورة النهائية للدالة ولمزيد من المعلومات Gary . المعادلة التالية تعرض دالة احتمالية شدة الرياح ويبول Weibull probability density function .

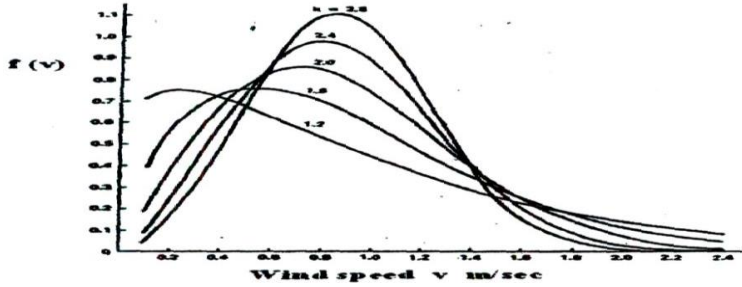
$$f(v) = \frac{k}{c} \left[ \frac{v}{c} \right]^{k-1} \exp \left[ - \left( \frac{v}{c} \right)^k \right] (k > 0, 0 < v < \infty, c > 1)$$

وكما اشرنا سابقاً الدالة تحتوي علي متغيرين وهما :

- معامل القياس ويرمز له بالرمز  $c$

- معامل الشكل ويرمز له بالرمز  $k$

والدالة السابقة موضحة من خلال المنحني شكل (13-3) وذلك عند قيم مختلفة من  $k$  وثبات قيمة  $c$  عند واحد صحيح.



شكل (13-3): دالة كثافة شدة الرياح عندما يكون معامل القياس  $c = 1$

ونلاحظ من شكل المنحني (13-3) أنه عندما سكون معامل القياس  $c$

مساوي الواحد الصحيح فإن معادلة ويبول Weibull density function نتائجها ستكون أكثر تناسب وتكون أكثر تقارب بزيادة قيمة معامل الشكل  $k$  وأيضاً تتحرك قمة المنحني بالزيادة وذلك بزيادة قيمة السرعة.

وبالرجوع إلي شكل المنحني (13-3) نجد أن معادلة ويبول Weibull

density function بصفة عامة يحتوي علي الشكل الصحيح الذي يمكن من خلاله تقدير منحنى تكرار سرعة الرياح وحقيقة أن بيانات سرعة الرياح التي تم تجميعها من مناطق كثيرة من العالم يمكن وصفها بدرجة عالية من الصحة باستخدام Weibull density function بشرط أن تكون فترة قياس وتجميع البيانات ليست قصيرة. حيث أن تجميع البيانات عن سرعة الرياح خلال دورة زمنية مكونة من عدد من الساعات أو حتى يومان لن يكون كافي بدرجة مناسبة لرسمها/ تمثيلها باستخدام Weibull أو مقياس إحصائي آخر.

ولكن عندما يتم تجميع البيانات لمدة بعض الأسابيع وحتى عام كامل أو أكثر فإنه في هذه الحالة يمكن تمثيل هذه البيانات باستخدام Weibull وبدرجة معقولة وعالية من الدقة.

## ب- دالة رايلي Rayleigh density functions :

دالة رايلي Rayleigh لوصف توزيع شدة الرياح كما ذكرنا يمكن الحصول عليها بفرض ثبات قيمة لمعامل الشكل (k=2) shape parameter للمكان محل الدراسة وبالتعويض بهذه القيمة في الصورة النهائية دالة كثافة شدة الرياح Weibull density function وبالتالي يكون معامل القياس c (parameter scale) هو المتغير الوحيد في المعادلة كما يلي :

$$f(v) = \left( \frac{2v}{c^2} \right) \exp \left[ - \left( \frac{v}{c} \right)^2 \right] 0 < v < \infty$$

وحيث أن معامل القياس c دالة في متوسط سرعة الرياح  $(\bar{v})$  mean wind speed للمنطقة محل الدراسة فإن يمكن إعادة صياغة دالة Rayleigh وصياغتها بدلالة متغير واحد وهو متوسط سرعة الرياح  $(\bar{v})$  كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \left( \frac{v}{\bar{v}^{-2}} \right) \exp \left[ - \frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right] 0 < v < \infty$$

وكذا يمكن حساب دالة التوزيع التكراري لرايلي Rayleigh cumulative distribution function من العلاقة الآتية:

$$f(v) = 1 - \exp \left[ - \frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right]$$

أما احتمالية أن تكون سرعة الرياح أكبر أو تساوي السرعة محل الدراسة  $v_a$  فيمكن حسابها من المعادلة الآتية كما يلي:

$$p(v \geq v_a) = 1 - F(v_a) = \exp \left[ - \frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right]$$

وتباين دالة كثافة / شدة سرعة الرياح يمكن حسابه من المعادلة التالية :

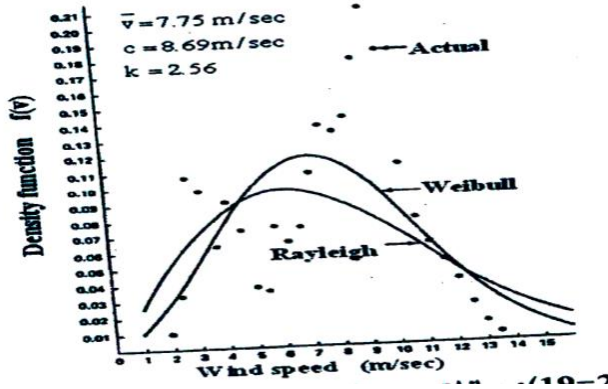
$$\sigma^2 = \left[ \left( \frac{\pi}{4} - 1 \right) \bar{v}^2 \right]$$



ويجب الإشارة إلي أن التباين يكون فقط دالة في توسط سرعة الرياح وهذا يعني أن المتوسط الحسابي يمثل أهم عنصر / متغير إحصائي يمكن من خلال الأس الثاني لقيمتة وصف التباين . ولذلك أنه بمجرد حساب متوسط سرعة الرياح لموقع القياس فإن كل إحصائيات دالة شدة سرعة الرياح رايلي تستخدم وبدون أي حسابات إضافية للوصف المباشر لموقع القياس.

من السهل استخدام Rayleigh density function كمقياس بسيط غير معقد لوصف كثافة والتوزيع التكراري لسرعة الرياح في أي مكان. ولكن نتيجة للاختلافات الطبيعية في سرعة الرياح من سنة إلي أخرى فإن ذلك يستدعي تفضيل استخدام Weibull density function لوصف شدة سرعة الرياح وتوزيعها التكراري للموقع.

ويجب التأكد علي أن الرسم البياني الحقيقي actual histograms لسرعات الرياح يصعب عمل توافق fitting لهذه القيم بواسطة أي دالة رياضية matchemathical function خاصة إذا كانت الدورة الزمنية لتجميع بيانات سرعة الرياح قصيرة. ويوضح شكل (3-14) الرسم البياني لشدة الرياح سرعة الرياح للبيانات الحقيقية المقاسة لموقع معين وكذلك من خلال نموذجي ويبول Weibull ورايلي Rayleigh حيث يلاحظ أن شدة سرعة الرياح ناتج دالة Weibull تكون أكثر ارتفاعاً عنها في حالة Rayleigh وذلك عندما تكون سرعة الرياح في المدى بين 5 إلي 12 م/ث وتكون أقل خارج هذا المدى . وكذلك وتكون كثافة سرعة الرياح ناتج كل من نموذجي Rayleigh, Weibull تكون أعلى من القيم الحقيقية لكثافة سرعة الرياح عندما تكون سرعة الرياح أكبر من 12 م/ث.



شكل (3-14): بيانات سرعات الرياح الحقيقية ودالتى شدة كثافة سرعة الرياح لكل من النموذجين Weibull و Rayleigh

### أساسيات حسابات طاقة الرياح

#### العلاقة بين سرعه الرياح طاقته

وحدات توليد طاقة الرياح تقوم بتحويل جزء من الطاقة الحركية للهواء إلي طاقة ميكانيكية.

#### اثبات العلاقة بين الطاقة الحركية للرياح وسرعتها:

يمكن حساب الطاقة الميكانيكية التي يمكن حصادها من تيار هواء نتيجة وجود سطح في وضع متعامد مع اتجاه السريان شكل (3-15) فإذا كانت سرعة مرور جزء من الهواء ذات كتلة  $dm$  هي  $v$  فإن الطاقة الحركية  $dE$  يمكن حسابه كالآتي:

$$dE = \frac{1}{2} \cdot dm \cdot v^2 \quad (J)$$

$$dm = \rho_{air} \cdot dv_1 \quad (kg)$$

حيث ان:

$\rho_{air}$  هي كثافة الهواء  $Kg/m^3$

$dv_1$  هي حجم جزء من الهواء  $m^3$

$v$  هي سرعة الهواء  $m/s$

وحيث أن:

$$dv = A \cdot dx \quad (m^3)$$

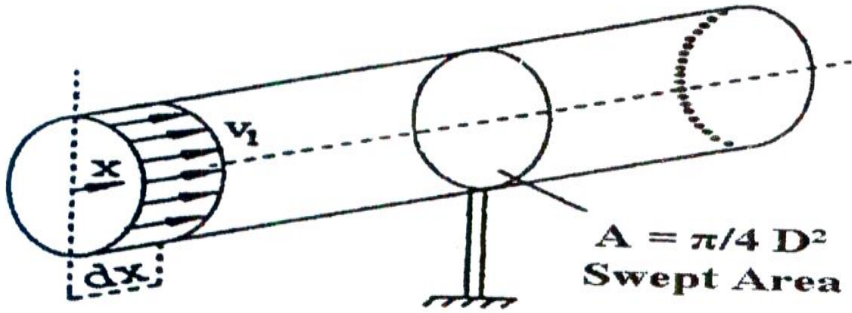
$$dx = v \cdot dt \quad (m)$$

حيث  $A$  هي مساحة المقطع الدائري للتوربين (Rotor) بالمتر المربع ,  $dx$  هي المسافة بالمتر و  $dt$  هي مقدار الفترة الزمنية بالثانية . وعليه يمكن كتابة المعادلة كما يلي:

$$dm = \rho_{air} \cdot A \cdot v \cdot dt. \quad (kg)$$

وعليه يمكن حساب الطاقة الحركية  $dE$  بالتعويض في المعادلة 1 كما يلي :

$$dE = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot v_1^3 \cdot dt. (J = W \cdot s)$$



شكل (3-15): سريان كتلة من الهواء خلال سطح  $A$  متعامد مع اتجاهها (Gasch,

1991)

**العلاقة بين سرعة الرياح وقدرتها:**

حيث أن القدرة هي مقدار الطاقة لوحدة الزمن فإنه يمكن من المعادلة السابقة 3 حساب قيمة قدره الرياح النظرية  $P_{v1}$  بمعلومة سرعة الرياح أمام التوربينة وقبل اصطدامها بالتوربينة وذلك بقسمة المعادلة 3 علي الزمن كما يلي:

$$P_{v1} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot v_1^3 \quad (W)$$

**تأثير الأس التكعيبي للسرعة على القدرة:**

حيث أن القدرة الناتجة من الرياح تتناسب مع مكعب سرعة الرياح وهذا يعني أنه إذا تضاعفت سرعة الرياح فإن القدرة الناتجة من الرياح تزداد وبمقدار  $2^3$  أي ثمانية أضعاف. أي أن القدرة تزداد بمقدار 8 أضعاف كلما زادت السرعة إلي الضعف كما هو موضح بالمعادلة.

**تأثير كثافة الهواء على قدرة التوربينة:**

من المعادلة السابقة نلاحظ أن القدرة النظرية التي يمكن حصادها باستخدام توربينة الرياح تتغير خطياً مع كثافة الهواء التي تتغير بدورها مع الضغط ودرجة الحرارة طبقاً للقانون العام للغازات كما تم توضيحه سابقاً.

**سلم فورت لبيان شدة الرياح:**

للمساعدة في فهم تأثير الرياح ووصفها تم وصف الرياح وفقاً لشدتها في ترتيب تصاعدي في صورة سلم بسلم بوفورت ويوضح جدول (2-3) سلم بوفورت لبيان شدة الرياح كما يلي:

جدول (2-3): سلم بوفورت لبيان شدة الرياح (Gourieres, 1982)

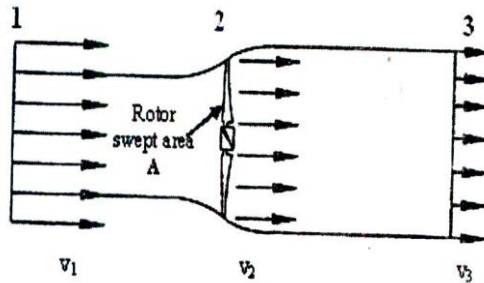
Description	Wind Speed			Before to No.
	Knots	[m/s]	[Km/h]	
Clam				
Light air	1	0.0-0.4	<1	0
Light breeze	1-3	1.5-0.5	1-6	1
Gentle breeze	4-5	0.5-3.0	7-11	2
Moderate breeze	7-10	3.5-5.0	12-19	3
Fresh breeze	11-16	5.5-8.0	20-28	4
Strong breeze	17-12	8.1-10.9	29-38	5
Near gale	22-27	11.4-13.9	39-49	6
Gale	28-33	14.1-16.9	50-61	7
Strong gale	34-40	17.4-20.4	62-74	8
Strong gale	41-47	20.5-23.9	75-88	9
Storm	48-55	24.4-28.0	89-102	10
Violent storm	56-63	28.4-32.5	103-117	11
Hurricane	64-71	32.6-35.9	188-133	12

## القدرة الفعلية لتوربينة طاقة الرياح:

تعتمد قدره الرياح علي كل من المساحة التي تمر عليها الرياح وسرعة الرياح في أي منطقة فعندما تصطدم الرياح بريش توربينة الرياح فإنه تدور نتيجة انتقال الطاقة الحركية من جزئيات الهواء إليها. أي أن الطاقة الحركية للرياح تتحول إلي طاقة تدير ريش المروحة ومنها إلي طاقة ميكانيكية أو كهربائية. فإذا كانت كمية القدرة الكلية المواجهة للرياح معلومة فالسؤال الذي يطرح نفسه ما هو مقدار القدرة الفعلية التي يمكن حصادها باستخدام توربينة طاقة رياح؟ وبوضوح يمكن القول إن لم تصل التوربينة لمرحلة الدوران أي أنه ليست هناك قيمة للعجلة التناقضية لسريان الهواء في هذه الحالة فإن القدرة التي يمكن حصادها سوف تكون صفر. كذلك إذا توقف سيران الهواء عند مستوي التوربينة أي أن الهواء لم يستطع المرور من خلال التوربينة ( مصمتة) ولكن أخذ مسار حولها فإنه في هذه الحالة أيضاً تكون قيمة القدرة التي يمكن حصادها بواسطة التوربينة صفر. وبين الحالتين السابقتين يمكن الحصول علي مدي القدرة التي يمكن حصادها باستخدام توربينة طاقة الرياح وللحصول علي أقصى قيمة للقدرة التي يمكن حصادها باستخدام توربينة طاقة رياح مثالية يجب أن تكون سرعة الرياح أقل من 100 متر في الثانية كذلك يشترط ألا تكون هناك فواقد ميكانيكية أو نتيجة الديناميكا الهوائية في التوربينة ولذا تسمى توربينة طاقة الرياح في هذه الحالة بالمثالية ( Hau, 1996; Molly; 1990 ,Gasch, 1991)

استنتاج قانون القدرة المستخلصة الفعلية لتوربينة الرياح :  $P_{extr}$ 

يمكن الاستعانة بالشكل (16-3) في استنتاج قانون القدرة الفعلية لتوربينة الرياح.



شكل (16-3): سريان تيار من الهواء خلال توربينة طاقة رياح مثالية

حيث يوضح شكل (3-16) أن هناك ثلاث قطاعات الأول قبل التوربينة و عندها سرعة الرياح  $v_1$  والثاني يقع مباشرة عند مستوي التوربينة وقيمة السرعة عندها  $v_2$  أما القطاع الثالث يقع خلف التوربينة وسرعة الرياح عندها  $v_3$ . ولذا سوف نستعرض كيفية حساب قيمة القدرة الفعلية  $P_{extr}$  من وحدة طاقة الرياح حيث أن القدرة التي يمكن حصادها باستخدام توربينة الرياح من الهواء تتناسب مع الفرق في سرعة الرياح قبل (Upwind,  $v_1$ ) وبعد (Down wind,  $v_3$ ) التوربينة ويمكن حساب  $P_{extr}$  بواسطة العلاقة التالية :

$$P_{extr} = P_1 - P_3 = \frac{1}{2} \rho_{air} (A_1 v_1^3 - A_3 v_3^3) \quad (1)$$

وبتطبيق معادلة الاستمرارية لوسط غير قابل للانضغاط عند القطاعات الثلاثة السابق ذكرها والموضحة بالشكل (16) نحصل علي :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 \quad (2)$$

بحساب  $A_3$  من المعادلة (2) بدلالة  $V_1$  و  $A_1$  وبالتعويض بقيمتها في المعادلة (1):

$$P_{extr} = \frac{1}{2} \rho_{air} A_1 v_1 (v_1^2 - v_3^2) \quad (3)$$

وبالنظر إلي المعادلة (3) نجد أن قيمة  $A_1$  غير معلومة وعليه يجب تعديل المعادلة (3) حيث أن القوي التي تؤثر علي التوربينة تكون مماثلة للقوي الذي يمكن للتوربينة حصادها من تحرك كتلة من الهواء وعليه تكون  $P_{extr}$ .

$$P_{extr} = S v_2 \quad (4)$$

$$S = \dot{m} (v_1 - v_3) = \rho_{air} A_1 v_1 (v_1 - v_3) \quad (5)$$

وحيث أن :

S

وبالتعويض في المعادلة (5) عن قيمة S نحصل علي:

$$P_{extr} = \rho_{air} A_1 v_1 (v_1 - v_3) v_2 \quad (6)$$

بمساواة المعادلتين (3) و (6) نجد أن قيمة  $v_2$  تمثل تقريباً متوسط مجموع سرعتي الرياح قبل وبعد التوربينة كما هو مبين بالمعادلة (7)

$$v_2 = 0.5(v_1 + v_3) \quad (7)$$

كذلك يمكن كتابة المعادلة 3 بدلالة  $v_2$  و  $A_2$

$$P_{extr} = \frac{1}{2} \rho_{air} A_2 v_2 (v_1^2 - v_3^2) \quad (8)$$

وبالتعويض في المعادلة (8) عن قيمة  $v_2$  المتحصل عليها من المعادلة (7) يمكن التنبؤ بقيمة  $P_{extr}$  كما هو موضح في المعادلة (9).

$$P_{extr} = 0.25 \rho_{air} A_2 (v_1 + v_3) (v_1^2 - v_3^2) \quad (9)$$

ولكن قيمة القدرة النظرية التي يمكن حصادها باستخدام توربينة طاقة رياح معلوم مساحتها الدائرية تم حسابها في الدرس السابق باستخدام العلاقة التالية :

$$P = 0.5 \rho_{air} A_2 v_1^3 \quad (10)$$

### معامل القدرة لتوربينة طاقة الرياح:

يمكن استنتاج معامل القدرة لتوربينة الرياح  $C_p$  بقسمة المعادلة (9) الممثلة لقيمة القدرة الفعلية التي يمكن حصادها باستخدام توربينة طاقة رياح علي المعادلة (10) الممثلة لقيمة القدرة النظرية لهذه التوربينة كما يلي:

$$C_p = \frac{P_{extr}}{P} = 0.5(1 - x^2)(1 + x) \quad (11)$$

حيث أن  $x = v_3/v_1$  تمثل النسبة بين سرعة الرياح  $v_3$  خلف التوربينة إلي سرعة الرياح أمامها  $v_1$ .

### أقصى معامل قدرة:

لإيجاد أقصى قيمة لمعامل القدرة  $C_p$  يجب أن تكون أول خطوة لاشتقاق  $C_p$  هو التعويض بقيمه  $x$  تساوي صفر ثم بقيم أخرى بشرط أن تكون هذه القيم أكبر من الصفر وأقل من الواحد الصحيح كما هو مبين بالجدول (3-3).



جدول (3-3): العلاقة بين معامل القدرة  $C_p$  إلي نسبة بين سرعة الرياح خلف وأمام التوربينة  $x=v_3/v_1$

1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	1/3	0.2	0.1	0	X
0	0.324	0.512	0.5625	0.588	0.5926	0.59	0.5445	0.5	$C_p$

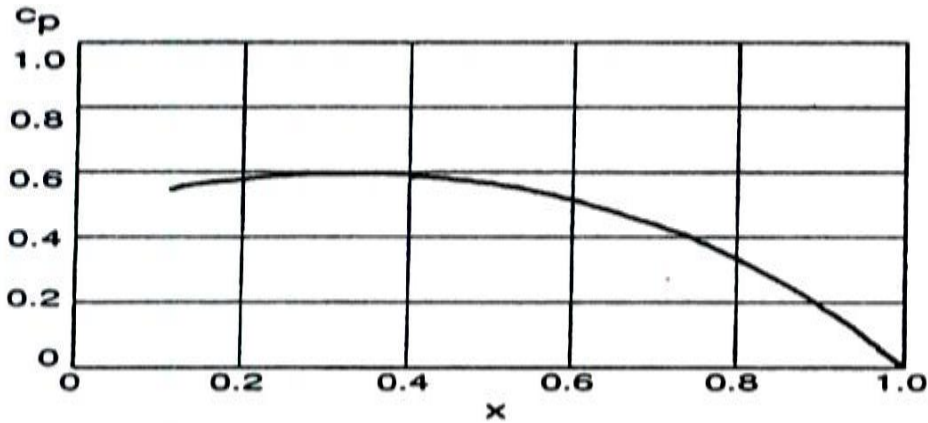
ومن الجدول السابق نلاحظ أن أقصى قيمة لمعامل القدرة والتي يطلق عليها  $C_p$  max (Maximum power- coefficient) تتحقق عندما تكون سرعة الرياح  $v_3$  خلف التوربينة مساوية تقريباً ثلث قيمة سرعة الرياح أمامها  $v_1$  كما هو موضح بالمعادلات التالية :

$$C_p = \max = 0.5926 \quad (15a)$$

$$V_3 \text{ opt} = 0.33 v_1 \quad (15b)$$

$$V_2 \text{ opt} = 0.33 v_1 \quad (15c)$$

والعلاقة بين معامل القدرة  $C_p$  إلي النسبة بين سرعة الرياح خلف وأمام التوربينة  $x = v_3/v_1$  والموضحة في الجدول السابق يمكن رسمها كما في الشكل (3-17) التالي :



شكل (3-17): العلاقة بين معامل القدرة  $C_p$  الى النسبة بين سرعة الرياح خلف وأمام التوربينة،  $x=v_3/v_1$  (Hau, 1996)

### العوامل التي تؤثر على معامل القدرة وكفاءة التوربينة:

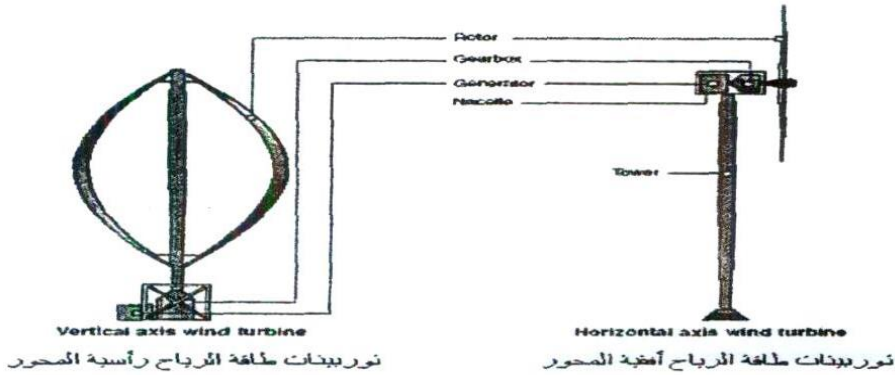
ومما سبق يتضح أن أقصى قيمة للقدرة الفعلية التي يمكن حصادها باستخدام توربينه طاقة رياح من إجمالي طاقة الرياح هي 59.26 في المائة وبمقارنة الأنواع المختلفة من توربينات ووحدات طاقة الرياح نجد أن الكفاءة الكلية تتراوح من 30 - 40% وتتوقف قيمة معامل القدرة  $C_p$  على الكثير من العوامل أهمها :

- نوع التوربينة
- تصميم ريش التوربينة
- عدد ريش التوربينة
- وضع التوربينة بالنسبة للبرج

### التقسيم العام لتوربينات طاقة الرياح

#### تصنيف توربينات طاقة الرياح:

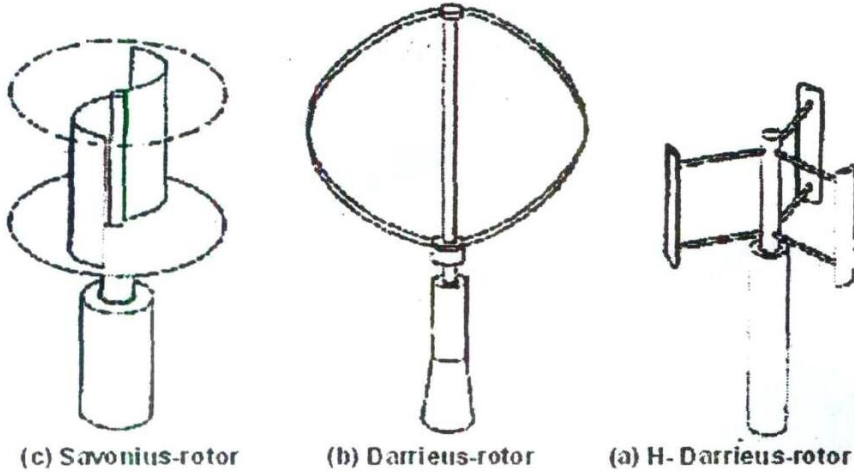
بصفة عامة تقسم توربينات طاقة الرياح إلي مجموعتين حسب توجيه محاور الدوران بها بالنسبة لاتجاه الرياح حيث أن المجموعة الأولى : توربينات أفقية المحور horizontal axis wind turbines (HAWT) وهي تشبه طواحين الهواء windmill. المجموعة الثانية : من المراوح فهو التوربينات رأسية المحور vertical axis wind turbines (VAWT) وهي تشبه آلة خفق البيض eggbeater الشكل (3-18) يعطي مقارنة بين المكونات الرئيسية لكلا النوعين حيث أن التوربينات أفقية المحور هي الأكثر استخداما والأوسع انتشارا في العالم.



شكل (3-18): توربينات طاقة الرياح الأفقية والرأسية

### التوربينات رأسية المحور VAWT

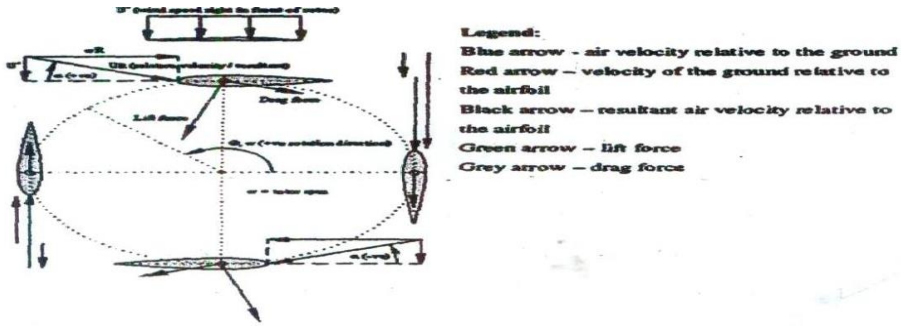
وتكون متعامدة علي سطح الأرض وكذلك يكون سريان الرياح متعامد عليها في جميع الاتجاهات وعلي هذا الأساس فإن هذا النوع من التوربينات لا يحتاج إلي أجهزة توجيه. ولا توضع توربينات الهواء رأسية المحور علي برج مرتفع كما في الأنواع أفقية المحور. وحيث أن تلك التوربينات تعمل بكفاءة إذا هبت الرياح من أي اتجاه. لذا فإن هذا النوع من التوربينات يناسب المناطق التي يتغير فيها اتجاه الرياح بسرعة وبصورة مستمرة. كما أن هذا النوع يستخدم في بعض الأحيان في توليد القدرة الميكانيكية لأن العمود الدوار Rotating shaft يمكن أن يمتد بسهولة حتى سطح الأرض بدون الحاجة إلي مكونات إضافية من تروس أو أشياء أخرى ولكن يعيب هذا النوع مقارنة التوربينات أفقية المحور أنها أقل كفاءة. يوضح الشكل (3-19) ثلاث أنواع من توربينات الهواء رأسية المحور وهي كما يلي: توربينة داربوس Darrieus – rotor وتوربينة سافونيس Savonius- H- Darrieus – rotor و roto.



شكل (3-19): توربينات طاقة الرياح رأسية المحور

#### أ- توربينات داريوس :

والتوربينات من النوع داريوس هي الأكثر انتشارا وسميت علي اسم مخترعها العالم الفرنسي وينقسم هذا النوع إلي قسمين هما eggbeater- type and H- type كما هو موضح بالشكل (3-19) ولهذا النوع ثلاث أو أربع ريش منحنية ذات سطح انسيابي متصلة بعمود رأسي وهي تعمل بنظام قوي الرفع هذه القوى تنشأ نتيجة لشكل ريش التوربينة حيث أن هذه الريش تقطع الهواء بزاوية هجوم angle of attack بينها وبين تيار الرياح مسببه لاختلاف في الضغط حول الريشة وهذا الاختلاف في الضغط يؤدي إلي توليد قوى الرفع lift force والذي يعمل بدورها علي دفع الريشة إلي الأمام ولكي يتم دوران التوربينة يجب أن يكون صافي اعزم الإدارة net torque الناتج من قوى الرفع أكبر من العزم الناتج عن قوى السحب drag forces وشكل (3-20) يوضح القوى المؤثرة على ريشة داريوس توربينة خلال دورانها 360°.



شكل (3-20): القوى المؤثرة على ريشة داريوس توربينة خلال دورانها 360°

والقدرة التي يمكن حصادها بواسطة توربينة داريوس يمكن حسابها بالاستعانة بشكل توزيع القوي ومركبات السرعات المختلفة الموضحة بشكل (3-20).

### حيث أن هناك مركبتين للسرعة ذات أهمية كبيرة وهما :

- السرعة النسبية بين الريش والعمود الرأسي للتوربينة relative velocity of the airfoil to the shaft والذي تكون موازية لوتر chord الريشة وتكون قيمتها مساوية لحاصل ضرب السرعة الدورانية في نصف قطر التوربينة

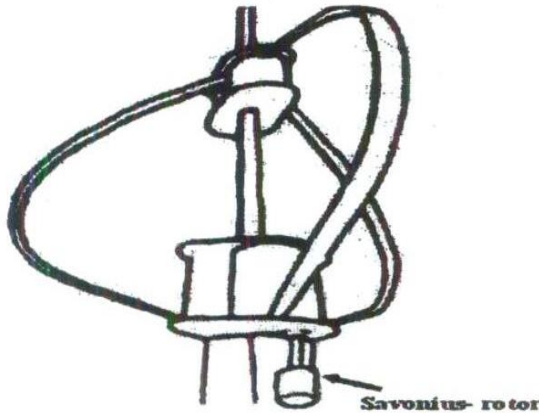
- السرعة الثانية فهي سرعة الرياح wind speed والتي تكون قيمتها ثابتة تقريباً في الاتجاه الواحد وفي جميع الأوقات.

والنتيجة من هاتين السرعتين هي السرعة النسبية بين تيار الهواء والريشة velocity of the air relative to the airfoil . حيث أن الزاوية بين هذه السرعة ووتر الريشة chord of the airfoil يطلق عليها زاوية الهجوم angle of attack والذي قد أشرنا إليها سابقاً . ومن الشكل (3-20) نلاحظ انه عند زاوية هجوم attack angle تساوي 0° (far right) , 180° (far left) وقوي الرفع تتولد نتيجة لاختلاف توزيع الضغط حول الريشة وذلك عندما تكون قيمة زاوية الهجوم لا تساوي صفر (far right) أو 180° (far left) حيث أنه عند هاتين الوضعين تكون القوي الناتجة هي قوي السحب drag force فقط وتبدءا قوي الرفع في النشوء عند دوران الريش خارج هذين الوضعين وبزيادة زاوية

الهجوم . وقوي الرفع هذه ذات أهمية كبيرة عن قوي السحب وتكون عمودية علي محصلة اتجاه الرياح وتعمل علي دوران التوربيننة في اتجاه مضاد لحركة دوران عقارب الساعة . وتكون قوي الرفع ذات شدة كافية للحصول علي قدرة من التوربيننة عندما تكون سرعة ريش التوربيننة ضعف سرعة الرياح أو أكبر أي أن تكون tip speed ratio أكبر من أو تساوي 2 .

### كفاءة توربينات داربوس:

ومن واقع بيانات التشغيل لعديد من الوحدات اتضح أقصى كفاءة لهذا النوع من Darrieus التوربينات تعادل 38% . ولا يحتاج هذا النوع إلي جهاز حماية من زيادة سرعة الرياح عن الحد التصميمي المسموح. ولكن نظراً لأن عزم بدء الحركة لها صغير فإنها لا تبدأ الحركة ذاتياً لذا يجب إضافة مصدر قدرة إضافي لبدء الحركة وهذا يمكن أن يكون مروحة من النوع سافونويس كما هو مبين بالشكل (21-3). وهذا النوع يعمل عند سرعات رياح مرتفعة نسبياً وهو يناسب توليد الطاقة الكهربائية من الرياح.



شكل (21-3): توربيننة رأسية من نوع داربوس ثلاثية الريش مزودة بمروحة سافونويس للمساعدة في بدء الدوران

### ب - مراوح سافونويس :

أما المراوح من النوع سافونويس هي توربينات رياح ذات محور رأسي وتعمل بنظام قوي الجر ولذا تعطي عزما كبيرا نتيجة لسرعة دورانه المنخفضة ولهذا فهو يناسب نظم ضخ المياه الميكانيكية بطاقة الرياح.

**التوربينات أفقية المحور HAWT:**

وفيها يكون محور المروحة أو التوربينة موازياً لاتجاه الرياح وتتطلب بعض المكونات لتوجيه التوربينة لتكون باستمرار مواجها للرياح ويعيب هذا النوع أن التغيرات السريعة في اتجاهات الرياح لا يمكن استغلالها أمام محور التوربينة وتوضع جميع نظم توليد طاقة الرياح أفقية المحور علي برج مرتفع عن سطح الأرض يعتمد علي قطر المروحة حيث يتراوح ارتفاعه ما بين 10 إلى 70 متر.

**وتقسم التوربينات أفقية المحور إلى مجموعات مختلفة تعتمد علي تصميم ووضع التوربينة بالنسبة للبرج الحامل لها :**

**أ- التوربينات المواجه للرياح Up- wind turbines**

إذا كانت التوربينة في مواجهة تيار الرياح والبرج خلف التوربينة يطلق عليها في هذه الحالة Up- wind turbines

**ب- التوربينات المتابعة للرياح Down- wind turbines**

أما إذا كان وضع البرج أما التوربينة في مواجهة الرياح فيطلق عليها Down – wind turbines

**ت- التوربينات السريعة بعدد محدود من الريش High- speed rotors :**

تقسم التوربينات أفقية المحور علي أساس عدد الريش blades في التوربينة الواحدة حيث يمكن أن تكون التوربينة أحادية- ثنائية – ثلاثية الريش ويطلق عليها التوربينات ذات السرعات العالية High – speed totors وهي تعمل بنظام قوي الرفع حيث يكون عزم الدوران الناتج منها صغير ولكن السرعة الدروانية للمروحة تكون مرتفعة ولذا تستخدم عادة هذه الأنواع لتوليد الكهرباء . والمراوح المزودة بثلاث ريش هي الأكثر انتشاراً حيث تكون أكثر اتزاناً وأقصى كفاءة لهذه الأنواع قد تصل إلي 47%.

**ث- المراوح متعددة الريش Multiple blade rotor**

قد يصل عدد الريش لها من 15 إلى 40 ريشة مثبتة علي محور أفقي ويكون تصميم الريش غير معقد كما في الأنواع السابقة وتكون عبارة عن قطع علي شكل هندسي موحد لكل مروحة ويتم تثبيتها بزواوية محدد علي محور

المروحة وحيث أن هذه المراوح تعمل بنظام قوي الجر Drag فإنها تبدأ الدوران عند سرعات رياح منخفضة وهي تناسب ظلمبات ضخ المياه الميكانيكية بطاقة الرياح لأن العزم الناتج منها يكون كبير وهذا يلاءم متطلبات بدء الحركة لمضخة المياه الترددية وأقصى كفاءة لهذه النوع قد يصل إلى 34%. ويوضح شكل (3-22) أنواع التوربينات أفقية المحور من حيث عدد ريش المروحة وكذلك وضع المروحة بالنسبة للبرج الحامل لها واتجاه الرياح.



شكل (3-22): أنواع التوربينات أفقية المحور

### المكونات الرئيسية لوحدة توليد طاقة الرياح:

لما كانت توربينات طاقة الرياح أفقية المحور الاكثر انتشارا لذا سوف نستعرض في هذا الجزء المكونات الرئيسية لوحدة توليد طاقة الرياح ذات توربينة أفقية المحور عالية السرعة لتوليد الطاقة الكهربائية وأخرى أفقية المحور ذات سرعة منخفضة تستخدم لضخ المياه.

### التوربينات أفقية المحور عالية السرعة:

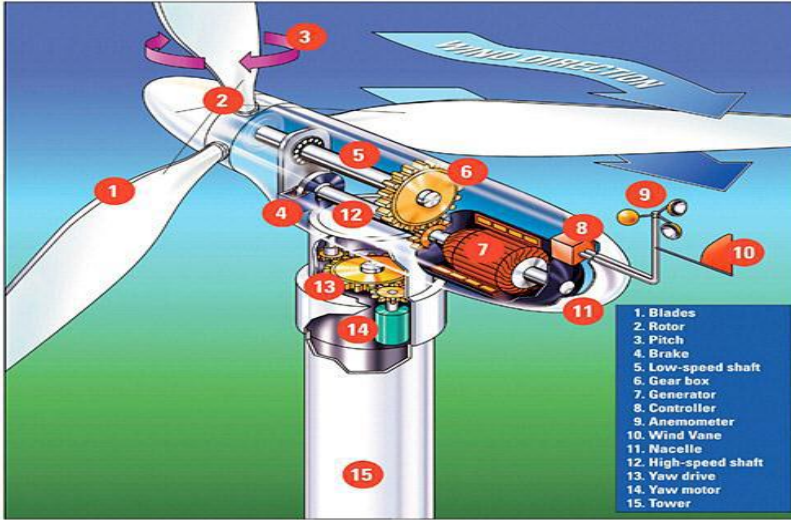
في بداية القرن التاسع عشر تم استخدام طاقة الرياح كمصدر من مصادر الطاقة الكهربائية في صورة وحدات مستقلة او ربطها بشبكة الكهرباء والتوربينات أفقية المحور وعالية السرعة حيث تم تطويرها ونموها بصورة كبيرة خاصة في قيمة القدرة التي يمكن الحصول عليها من الوحدة الواحدة والتي وصلت حتى 1500 كيلو وات ويتحكم قطر التوربينة المستخدمة في قيمة معدل القدرة بالدرجة الاولى. بالاضافة لما سبق فانه تم استخدام وحدات طاقة الرياح كنظم هجين مع مصادر الطاقة التقليدية أو المتجددة الاخرى في العديد من التطبيقات. والمكونات الرئيسية في توربينات طاقة الرياح المستخدمة في توليد الكهرباء هي:-

1- التوربينة أو المروحة rotor متصل بها الريش blade.

2- نظام نقل القدرة transmission system.



- 3- مولد الكهرباء generator.
  - 4- نظام التوجيه والتحكم yaw and control system.
  - 5- البرج tower وعادة يثبت هذا البرج على قاعدة خرسانية.
- شكل (3-23) يوضح الاجزاء الرئيسية لوحدة توليد طاقة الرياح.



شكل (23): الاجزاء الرئيسية لوحدة توليد طاقة الرياح

## 1- المروحة Rotor

المروحة هي اهم جزء من أجزاء وحدات طاقة الرياح وهي كما ذكرنا مصممة لكي تقوم بحصاد وتحويل الطاقة الموجودة بالرياح الى حركة دورانية وتستخدم هذه الحركة لادارة مولد الكهرباء أو اى نظام اخر يحتاج الى حركة دورانية. تتكون المروحة من عدد اثنين أو ثلاث ريش والسرعة المحيطية لنهاية الريشة تتراوح بين 50 – 70 م/ثانية.

المروحة المزودة بثلاث ريش تكون أكثر اتزاناً وتعطى افضل كفاءة كذلك يكون تصميم وتصنيع الصرة الذى تثبت بها الريش غير معقد كما فى الانواع الاخرى.

اما فى حالة المراوح المزودة بريشتين فان كفاءة المروحة سوف تقل من 2-3% وكذلك توجد بعض المراوح المزودة بريشة واحدة وهذا النوع اقل اتزاناً كما ان كفاءته تقل عن النوع السابق بمقدار 6%.

وتصنع الريش من مواد مختلفة على سبيل المثال يمكن ان تكون أحد المواد الاتية (GRP) Glass reinforced plastic او Wood and wood laminate أو Carbon fibre reinforced plastic (CFRP) أو Aluminium أو Steel ولكل مادة من المواد السابقة مميزاتا وعيوبها حيث يعتمد اختيار المادة المصنع منها ريش التوربينة على عدة عوامل منها على سبيل المثال قطر المروحة والتكلفة والمهارات والتكنولوجيا المتوفرة لتصنيع الريش من هذه المواد يضاف الى عامل التكلفة.

والتوربينة يمكن ان تتركب على البرج بحيث تكون فى وضع upwind or downwind كما اشرنا سابقا حيث انه عندما تكون المروحة فى وضع خلف البرج فانها يمكنها ان تقوم بعملية التوجيه الذاتى لاتجاه الرياح ولكن الضوضاء الناتجة منها سوف تكون مرتفعة كذلك انخفاض كفاءة حصاد الطاقة من الرياح نتيجة لظل البرج ولهذا نجد ان انتشار تصميم هذا النوع downwind اقل من upwind.

## 2- نظام نقل القدرة Transmission System:

نظام نقل القدرة هو عبارة عن جهاز نقل الحركة بين ريش التوربينة والمولد الكهربائى مرورا بصندوق التروس حيث انه فى هذا النوع من توربينات طاقة الرياح العالية السرعة يتم نقل القدرة الميكانيكية المحصودة من الرياح والمولدة بواسطة التوربينة الى المولد الكهربائى بواسطة نظام نقل قدرة مكون من:

- صندوق سرعات Gear Box
- دبرياج Clutch
- نظام فرامل Braking system لفرملة التوربينة عندما تكون ليست فى وضع التشغيل اثناء تنفيذ برنامج الصيانة أو لحمايتها من سرعة الرياح عندما تكون اعلى من cut-out wind speed.

وحيث أن السرعة الدورانية الناتجة من التوربينة تتراوح ما بين 20 – 50 لفة/دقيقة والتي تعتمد على سرعة الرياح السائدة. ولذا تكون الحاجة الى سرعات لكي يعمل على زيادة هذه الرعة الدورانية الى السرعة المطلوبة لتوليد الكهرباء من المولد والتي تتراوح بين 1000 – 1500 لفة/دقيقة ولهذا لابد من التصميم الجيد لنظام نقل القدرة حتى يلاءم القيمة المرتفعة لعزم الالتواء الديناميكي والناتج عن التغيير المستمر في قيمة القدرة الخارجة من التوربينة.

### 3- المولد الكهربائي Generator:

تقوم ريش التوربينة بحصاد وتحويل الطاقة الحركية من الرياح الى طاقة دورانية الى نظام نقل الحركة ثم يقوم المولد الكهربائي وهو الوحدة المسؤولة في التوربينة بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية ليتم استخدامها مباشرة وذلك في وحدات طاقة الرياح المنعزلة او ضخمها مباشرة في شبكة الكهرباء في حالة الوحدات المتصلة.

في كل وحدات طاقة الرياح الموصلة بشبكة خطوط الكهرباء يتم استخدام مولدات كهرباء ثلاثية الاوجه لتحويل القدرة الميكانيكية الناتجة من التوربينة الى قدرة كهربائية يتم تغذيتها في شبكة خطوط الكهرباء. وتقسم مولدات الكهرباء الى مجموعتين كما يلي:

- مولدات متزامنة وهي تعمل عند تردد مساوى لتردد شبكة الكهرباء المتصل بها.
- مولدات غير متزامنة وهي تعمل على تردد اعلى بقليل من تردد شبكة الكهرباء المتصل بها.

### 4- نظام التوجيه والتحكم Yaw and control system:

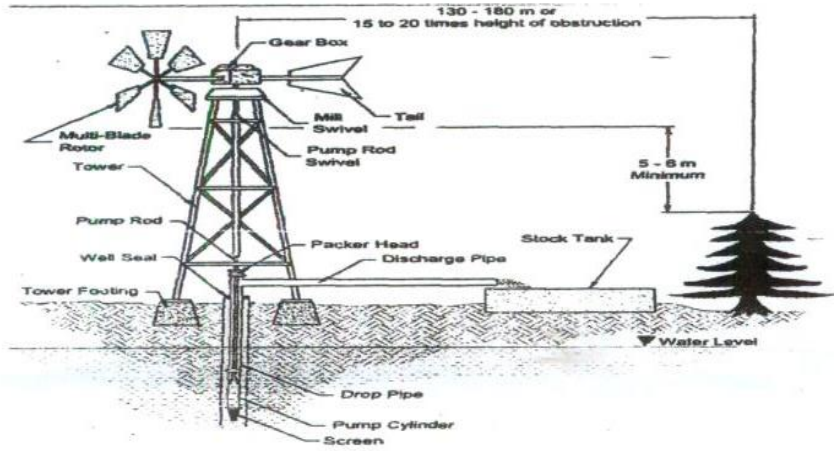
في هذا النوع من التوربينات الافقية المحور يكون بها نظام توجيه يتم من خلاله ادارة هيكل بحيث تكون التوربينة دائما عمودية في مواجهة الرياح. ويتم ذلك عن طريق موتور كهربائي مثبت على نهاية عمود الادارة له ترس ومعضق مع ترس آخر اسفل.

### 5- البرج Tower

يجب ان لا يقل ارتفاع البرج عن ضعفين قطر التوربينة وتوجد انواع كثيرة من الابراج سواء من حيث المواد المصنع منها او الشكل الانشائي حيث يمكن ان يكون انبوبي او شبكي.

## التوربينات أفقية المحور ومنخفضة السرعة:

هذا النوع من التوربينات يتميز بأن عدد الريش / الشفرات للتوربينة الواحدة يتراوح بين 8 إلى 24 ريشة. وعادة ما يستخدم هذا النوع كمصدر طاقة لتشغيل المضخات الميكانيكية لضخ المياه لتخزينها في خزانات وللإستخدام المباشر. وشكل (3-24) يوضح الأجزاء الرئيسية لوحدة طاقة رياح متعددة الريش لاستخدامها في تشغيل مضخة مياه إيجابية الإزاحة ويطلق علي هذا النظام American wind pump

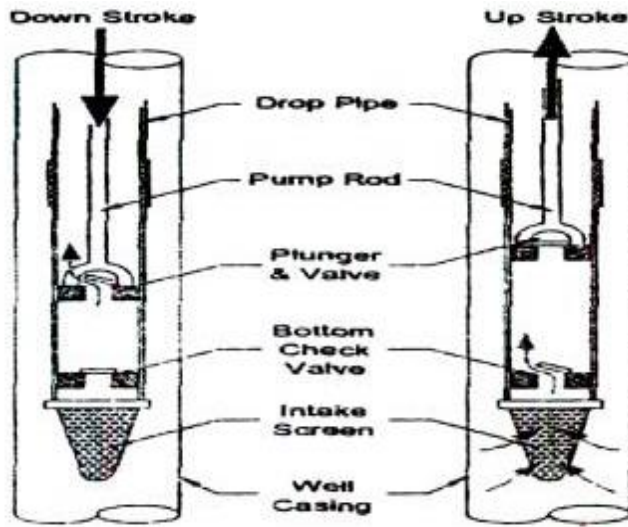


شكل (3-24): الأجزاء الرئيسية لوحدة طاقة رياح متعددة الريش لاستخدامها في تشغيل مضخة مياه

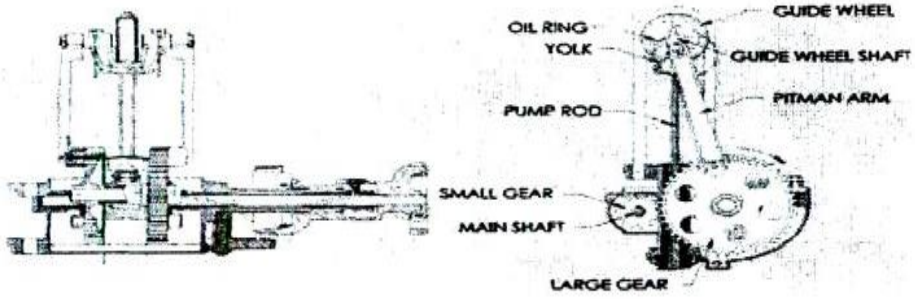
## مكونات:

وتتكون وحدة طاقة الرياح من هذا النوع من توربينة مروحة لها قطر تصميمي محدد ومتعددة الريش حيث أنه يمكن الحصول علي سرعة دورانية منخفضة وعزم دوران مرتفع وتنتقل هذه القدرة إلي صندوق سرعات gear box يعمل علي تخفيض السرعة وزيادة العزم حتى يناسب المضخة الماصة الكابسة piston pump شكل (3-25) التي عادة ما تستخدم مع هذا النوع من توربينات طاقة الرياح . يلي صندوق السرعات جهاز ميكانيكي يشبه عمود الكرنك شكل (3-26) لتحويل الحركة الدائرية للعمود الخارج من صندوق السرعات إلي حركة ترددية تناسب المضخة الماصة الكاسية . أما نظام التوجيه والأمان في هذا النوع من وحدات طاقة الرياح يعتمد علي حجم (قطر) توربينة الوحدة فعادة ما يستخدم

جنّاحين الأول جناح توجيهه wind vane ممتد خلف المروحة يعمل أن تظل المروحة في وضع متعامد مع اتجاه الرياح أما الجناح الثاني مزود ببيّاي ويعمل كنظام أمان للوحدة عند زيادة سرعة الرياح عن الحد الذي يجب إيقاف التوربينة عندها cut out wind speed وإلا تم لها تدمير ويوجد هذا الجناح في وضع متعامد علي الجناح الأول وفي نفس المستوي الذي تدور فيه التوربينة وهذا الجناح يعمل علي جذب المروحة خارج اتجاه الرياح بحيث تكون موازية لاتجاه الرياح. وكما لاحظنا فإن هذا النوع من التوربينات طاقة الرياح تعمل جميع أجزاءها ميكانيكياً أي لا تحتاج إلي برامج أوتوماتيكية لتشغيلها كما هو في نظم وحدات طاقة الرياح عالية السرعة المتصلة مع شبكة الكهرباء كذلك فإنه دائماً ما توجد وحدات طاقة الرياح الميكانيكية المنخفضة السرعة بحيث تكون مستقلة standalone unit.



شكل (3-25): قطاع في المضخة الماصة الكابسة يوضح مشوارى السحب والطررد



شكل (3-26): قطاع فى صندوق السرعات ونظام تحويل الحركة الدورانية الى ترددية فى وحدة طاقة رياح ميكانيكية افقية المحور منخفضة السرعة